Pêches et Océans Canada | Fisheries and Oceans Canada
Sciences des écosystèmes et des océans | Ecosystems and Oceans Science

Secrétariat canadien de consultation scientifique (SCCS)

Document de recherche 2018/040

Région du Pacifique

Information à l'appui de la désignation de l'habitat essentiel de la gonidée des Rocheuses (*Gonidea angulata*)

Roxanne Snook

4567 McFaul Road
Chilliwack (Colombie-Britannique) V2R 4N2

Aout 2018

Canada

Avant-propos

La présente série documente les fondements scientifiques des évaluations des ressources et des écosystèmes aquatiques du Canada. Elle traite des problèmes courants selon les échéanciers dictés. Les documents qu'elle contient ne doivent pas être considérés comme des énoncés définitifs sur les sujets traités, mais plutôt comme des rapports d'étape sur les études en cours.

Publié par :

Pêches et Océans Canada
Secrétariat canadien de consultation scientifique
200, rue Kent
Ottawa (Ontario) K1A 0E6

http://www.dfo-mpo.gc.ca/csas-sccs/
csas-sccs@dfo-mpo.gc.ca

© Sa Majesté la Reine du chef du Canada, 2018
ISSN 2292-4272

La présente publication doit être citée comme suit :

Snook, R. 2018. Information à l'appui de la désignation de l'habitat essentiel de la gonidée des Rocheuses (*Gonidea angulata*). Secr. can. de consult. sci. du MPO. Doc. de rech. 2018/040 viii + 62 p.

Also available in English :

Snook, R. 2018. Information in support of the identification of critical habitat for the Rocky Mountain Ridged Mussel (Gonidea angulata). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2018/040. viii + 56 p.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ viii
1 INTRODUCTION 1
2 GONIDÉE DES ROCHEUSES 1
2.1 RÔLE ÉCOLOGIQUE 1
2.2 POPULATION ET ÉTAT DE LA POPULATION 2
2.3 PRINCIPAUX STADES BIOLOGIQUES ET DESCRIPTION GÉNÉRALE DES BESOINS EN MATIÈRE D'HABITAT 3
2.3.1 Frai 4
2.3.2 Mécanisme de répartition 4
3 HABITAT ESSENTIEL 5
3.1 INFORMATION ET MÉTHODES UTILISÉES POUR RECOMMANDER L'HABITAT ESSENTIEL 5
3.1.1 Approche de modélisation 5
3.1.2 Efforts de relevés 7
3.2 DÉSIGNATION DE L'HABITAT ESSENTIEL 8
3.3 FONCTIONS BIOPHYSIQUES, CARACTÉRISTIQUES ET ATTRIBUTS DE L'HABITAT ESSENTIEL PROPOSÉ POUR *G. ANGULATA* DANS L'HABITAT LACUSTRE 9
3.3.1 Désignation de l'habitat essentiel lacustre : lacs Okanagan, Skaha, Vaseux et Osoyoos 9
3.3.2 Modélisation des habitats propices 10
3.3.3 Variables physiques 11
3.3.4 Paramètres biotiques 16
3.4 FONCTIONS BIOPHYSIQUES, CARACTÉRISTIQUES ET ATTRIBUTS DE L'HABITAT ESSENTIEL PROPOSÉ POUR *G. ANGULATA* DANS LES RIVIÈRES 17
3.4.1 Variables physiques 17
3.4.2 Paramètres biotiques 18
3.5 QUANTITÉ D'HABITATS ESSENTIELS REQUISE 19
4 ASPECTS GÉOGRAPHIQUES DE LA DÉSIGNATION 24
5 ACTIVITÉS SUSCEPTIBLES DE DÉTRUIRE L'HABITAT ESSENTIEL 34
6 ÉTUDES VISANT À ÉCLAIRER LA DÉSIGNATION DE L'HABITAT ESSENTIEL DE *G. angulata* 41
7 LACUNES DANS LES CONNAISSANCES CONCERNANT LA BIOLOGIE DE *G. angulata* 41
8 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS 42
9 REMERCIEMENTS 43
10 RÉFÉRENCES 44
ANNEXE 1. IMAGES DE L'HABITAT DE *G. angulata* 48
ANNEXE 2. CARTE DE L'HABITAT ESSENTIEL DANS LA VALLÉE DE L'OKANAGAN 52

ANNEXE 3. CODES DE CLASSIFICATION STATISTIQUE MIS EN ŒUVRE DANS L'ENVIRONNEMENT « R » 62

ANNEXE 4. COURBES DE DÉPENDANCE PARTIELLE POUR L'ALGORITHME « RANDOM FOREST » 64

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Résultats du modèle d'habitats propices pour les variables importantes relatives à l'habitat avec les algorithmes de classification « Random Forest » et « Party »*.....11

Tableau 2. Fonctions, caractéristiques et attributs essentiels de l'habitat essentiel pour chaque étape du cycle de vie de G. angulata* dans le bassin hydrographique de la rivière Okanagan (habitats lacustres et riverains).....20

Tableau 3. Coordonnées des limites des polygones pour l'espèce G. angulata dans les lacs Okanagan, Skaha, Vaseux et Osoyoos.....27

Tableau 4. Coordonnées des emplacements de G. angulata au sein des segments de la rivière Okanagan.....31

Tableau 5. Résumé de la superficie des polygones décrits aux tableaux 3 et 4 avec la largeur proposée de 80 m.....33

Tableau 6. Activités susceptibles d'entraîner la destruction de l'habitat essentiel de G. angulata.....35

Tableau 7. Sites recommandés aux fins de relevés supplémentaires à titre d'habitats propices potentiels (et non à titre d'habitat essentiel) pour G. angulata, d'après Snook (2015).....53

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Aire de répartition canadienne de l'espèce G. angulata (points noirs) au sein du bassin hydrographique de la rivière Okanagan, en Colombie-Britannique (Snook 2015, carte reproduite avec l'autorisation de l'auteur). 26

Figure 2. G. angulata dans un habitat lacustre, avec un substrat comportant un mélange de sable, de limon et de boue. 48

Figure 3. Des moules G. angulata bloquées entre des rochers et des galets grossiers sous des dépôts de sable et de sédiments fins (Dog Beach, Summerland, lac Okanagan) [Photographie : Roxanne Snook]. 49

Figure 4. Traces de moules G. angulata dans un site présentant un enfouissement élevé (100 %)
du substrat, avec une teneur élevée en sable, en limon et en matières organiques. 50

Figure 5. Dans les eaux plus turbulentes où règnent des contraintes de cisaillement (p. ex. sous les déversoirs), les moules G. angulata se trouvent calées sous des rochers et des galets grossiers (Photographie : Roxanne Snook). 51

Figure 6. Emplacement des gisements de G. angulata au sein des lacs de la vallée de l'Okanagan.
Les polygones colorés représentent la présence passée (violet), actuelle (rose – depuis 2005) et nécessitant de plus amples relevés (vert). Les segments roses sont les habitats essentiels recommandés. 52

Figure 7. Polygones 4, 5, 6, 7, et 8 des chutes Okanagan et du sud du lac Skaha. Les sites présentant une présence confirmée de G. angulata entre 2005 et 2015 sont recommandés en tant que polygones d'habitat essentiel (tableau 3). 54

Figure 8. Emplacements actuels et passés de G. angulata dans le lac Osoyoos. Les relevés passés autour de la pointe Haynes (polygone 3) proviennent de 2010 (Ecocat consulté le 15 décembre 2015). Les sites présentant une présence confirmée de G. angulata entre 2005 et 2015 sont recommandés en tant que polygones d'habitat essentiel (tableau 3). 55

Figure 9. Polygones 1, 2, 3, 9 et 10 au nord du lac Skaha. Les sites présentant une présence confirmée de G. angulata entre 2005 et 2015 sont recommandés en tant que polygones d'habitat essentiel (tableau 3). 56

Figure 10. Les trois polygones d'habitat essentiel de G. angulata du lac Vaseux. Les sites présentant une présence confirmée de G. angulata entre 2005 et 2015 sont recommandés en tant que polygones d'habitat essentiel (tableau 3). 57

Figure 11. Habitat essentiel du canal Penticton, avec deux spécimens de G. angulata observés en 2015 58

Figure 12. Juste au sud du lac Vaseux se trouvent un tronçon canalisé (polygone au nord) et un tronçon naturel de la rivière Okanagan (c.-à-d. non canalisée), à partir d'un aménagement jusqu'à un pont routier (polygone au sud d'une longueur de 1,72 km). À l'est se trouve le lac Gallager.
Ces polygones sont recommandés en tant qu'habitat essentiel. 58

Figure 13. Du chenal de frai au premier méandre restauré de la rivière Okanagan.
Il s'agit d'un tronçon canalisé de la rivière (Jon Mageroy[2], données non publiées 2015).
Ce polygone est recommandé en tant qu'habitat essentiel. 59

Figure 14. Habitat essentiel entre le lac Skaha et le lac Vaseux. Ces polygones sont recommandés en tant qu'habitat essentiel. 60

Figure 15. Rivière Okanagan, d'Oliver au lac Osoyoos. Ces polygones sont recommandés en tant qu'habitat essentiel.....61
Figure 16. Courbes de dépendance partielle pour chaque variable.
Ces courbes indiquent la probabilité de présence des moules G. angulata en fonction de chaque
variable prédictive dans les meilleurs modèles après un calcul de la moyenne des effets de l'ensemble des autres variables prédictives dans le modèle. 64

RÉSUMÉ

La gonidée des Rocheuses (*Gonidea angulata*, Lea 1839) est inscrite en vertu de la *Loi sur les espèces en péril* (LEP) en tant qu'espèce préoccupante, mais a fait l'objet d'une réévaluation en 2010 par le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC), qui l'a désignée en voie de disparition. En prévision de la désignation d'espèces en voie de disparition de la gonidée des Rocheuses en vertu de la LEP, ce rapport fournit les renseignements nécessaires pour soutenir l'identification de l'habitat essentiel. En vue de modéliser les habitats propices, on a utilisé, au lac Okanagan, un répertoire de zone littorale et des données de cartographie. La *gonidée des Rocheuses* se sert de deux types d'habitats distincts : l'habitat lacustre et l'habitat fluvial. L'habitat lacustre pour la *gonidée des Rocheuses* nécessite une exposition de l'endroit de 10 à 20 km et un banc ou une pente faible/inclinaison du site (de 0 % à 20 %). L'habitat riverain requiert des berges stables ayant une faible variabilité hydraulique (c.-à-d. des tronçons de cours d'eau canalisés). Les deux habitats nécessitent de la nourriture suffisante, une qualité de l'eau adéquate et des substrats à particules de dimensions variées, selon l'énergie du site. Cette moule d'eau douce de la famille des unionidés a besoin de poissons-hôtes pour assurer son développement. Par conséquent, ces derniers doivent aussi être présents dans son habitat. L'habitat essentiel recommandé de la *gonidée des Rocheuses* est fixé géographiquement à l'aide de l'approche de la zone de délimitation, y compris les caractéristiques et attributs importants

1 INTRODUCTION

Les moules d'eau douce sont sans doute l'un des groupes d'espèces les plus menacés de disparition en Amérique du Nord (Bogan 1993, Lydeard *et al.* 2004). La gonidée des Rocheuses *(Gonidea angulata*, Lea 1839) est une moule d'eau douce en voie de disparition appartenant à la famille des unionidés. La partie nord de son aire de répartition se trouve dans le bassin hydrographique de la rivière Okanagan, en Colombie-Britannique (Canada); l'espèce a vu son étendue et sa population baisser à l'échelle de son aire de répartition en Amérique du Nord (Jepsen *et al.* 2010, Stanton *et al.* 2012). En Colombie-Britannique, *G. angulata* est une espèce en péril (Centre de données sur la conservation de la Colombie-Britannique 2015 a, b) qui est inscrite sur la liste des espèces préoccupantes en vertu de la *Loi sur les espèces en péril* (LEP) depuis 2005. Pour cette espèce, un plan de gestion a été élaboré et publié sur le Registre public des espèces en péril en 2011 (Pêches et Océans Canada 2011). *G. angulata* a depuis fait l'objet d'une réévaluation par le Comité sur la situation des espèces en péril au Canada (COSEPAC 2010), qui l'a désignée comme une espèce en voie de disparition. Dans le cas où cette espèce serait inscrite en tant qu'espèce en voie de disparition en vertu de la LEP, son habitat essentiel devrait être désigné au moyen des meilleurs renseignements disponibles.

L'habitat essentiel est défini dans la LEP comme étant l'« habitat nécessaire à la survie ou au rétablissement d'une espèce sauvage inscrite et qui est désigné comme tel dans le programme de rétablissement ou le plan d'action élaboré pour cette espèce ». Pour les espèces aquatiques en péril, la LEP définit ainsi l'habitat d'une espèce aquatique : « [...] les frayères, aires d'alevinage, de croissance et d'alimentation et routes migratoires dont sa survie dépend, directement ou indirectement, ou aires où elle s'est déjà trouvée et où il est possible de la réintroduire ». [paragr. 2(1)]. Le présent rapport fournit des renseignements pour désigner l'habitat essentiel de *G. angulata* dans le bassin hydrographique de la rivière Okanagan.

Pour *G. angulata*, on recommande que la désignation de l'habitat essentiel soit menée à l'aide de l'approche de la zone de délimitation, telle qu'elle est décrite par Pêches et Océans Canada (2015). Une étude récente fournit des renseignements sur les caractéristiques et les attributs d'habitat qui sont vitaux pour les fonctions biophysiques de cette espèce. *G. angulata* utilise deux types d'habitats distincts : un habitat lacustre et un habitat riverain. Certaines caractéristiques importantes sont semblables dans les deux milieux, tandis que d'autres diffèrent, tout en soutenant les mêmes fonctions. La disponibilité de nourriture, les tailles précises du substrat, la disponibilité du poisson hôte et les fourchettes de qualité de l'eau à l'intérieur du niveau de tolérance de l'espèce sont des éléments importants. Les systèmes riverains à faible variabilité hydraulique et aux substrats stables, ainsi que les systèmes lacustres qui possèdent un banc ou une pente faible et une exposition optimale du site (c.-à-d. le fetch réel/total) sont considérés comme des habitats essentiels possibles pour *G. angulata* (Snook 2015).

2 GONIDÉE DES ROCHEUSES

2.1 RÔLE ÉCOLOGIQUE

Les moules d'eau douce filtrent d'importants volumes d'eau et retirent ainsi des particules fines de la colonne d'eau, contribuant ainsi à la qualité de leur écosystème (Morales *et al.* 2006). Ces particules peuvent comprendre des bactéries, des algues, du zooplancton et des détritus (Jepsen *et al.* 2010). *G. angulata* peut excréter ces particules filtrées sous la forme d'une substance mucoïde (pseudofèces), que des organismes du niveau inférieur peuvent ingérer à titre de nourriture (Jepsen *et al.* 2010). Par conséquent, *G. angulata* joue un rôle dans la

répartition du flux d'éléments nutritifs entre la colonne d'eau et la couche benthique (Jepsen *et al.* 2010). En outre, cette moule représente une partie du régime alimentaire des rats musqués, des ratons laveurs, des goélands, des poissons et des êtres humains, que l'on a vu consommer *G. angulata* (Roxanne Snook[1], obs. pers.). La surface extérieure de la coquille de *G. angulata* permet également une colonisation par d'autres invertébrés aquatiques.

G. angulata est une espèce de moule relativement longévive, avec une espérance de vie d'environ 50 ans dans le bassin de l'Okanagan (Mageroy 2015). Ses tissus et le periostracum (extérieur de la coquille) retiennent les éléments nutritifs, les minéraux et les contaminants au fil du temps. En raison de leur espérance de vie relativement longue et de leur tolérance environnementale relativement restreinte, *G. angulata* et d'autres espèces de moules d'eau douce sont considérées comme des espèces indicatrices pertinentes.

G. angulata est également un élément de biodiversité dans le bassin hydrographique de la rivière Okanagan, une aire de répartition où ne vivent que quelques autres espèces de moules d'eau douce. Ces espèces comprennent l'anodonte de Californie (*Andodonta californiensis/nuttalliana*), l'anodonte de l'Ouest (*Anodonta kennerleyi/oregonensis*) et la mulette-perlière de l'Ouest (*Margaritifera falcata*) [Pêches et Océans Canada 2011].

2.2 POPULATION ET ÉTAT DE LA POPULATION

Bien que le nombre d'emplacements connus de *G. angulata* dans le bassin hydrographique de la rivière Okanagan ait augmenté au cours des dernières années, cette augmentation résulte vraisemblablement plus de l'accroissement des efforts de recherche que d'une hausse de la dispersion de cette espèce. Alors qu'elle était très répandue de l'Idaho et du Nevada à la Californie (vers l'ouest) et à la Colombie-Britannique (vers le nord), l'espèce *G. angulata* a largement disparu de cette aire de répartition (Jepsen *et al.* 2010). Les raisons du déclin de l'espèce *G. angulata* comprennent, sans toutefois s'y limiter : la perte d'habitat, le développement humain, la présence d'espèces envahissantes, la perte d'espèces de poissons hôtes et la contamination des cours d'eau (Downing *et al.* 2010, Jepsen *et al.* 2010, Stanton *et al.* 2012). Dans le bassin hydrographique de la rivière Okanagan, d'anciens gisements de moules au sein du lac Osoyoos, du ruisseau Park Rill et du lac Skaha sont à présent vides ou jonchés de coquilles (Roxanne Snook[1], obs. pers.). La densité de *G. angulata* sur différents sites et à l'intérieur d'un même site varie fortement; par exemple, en 2010, les densités allaient de 15,29 individus/m^2 à 1,27 individus/m^2 à Summerland (Stanton *et al.* 2012).

Des populations de *G. angulata* estimées à plus de 1 000 et de 3 000 individus existent sur certains sites de la rivière Okanagan (Jon Mageroy[2], comm. pers.) et du lac Okanagan (Stanton *et al.* 2012), respectivement. Dans une étude sur la densité menée au cours de 2008 et de 2009, Stanton *et al.* (2012) n'ont découvert qu'une faible fluctuation de la taille des populations sur deux années. Cependant, ces conclusions ont été formulées malgré un faible niveau de confiance et ont été assorties d'une recommandation visant à poursuivre le suivi de la densité des populations. Un résumé plus détaillé des taux de prise et de la localisation des efforts d'échantillonnage entre 2009 et 2008 est fourni dans Stanton *et al.* (2012).

---

[1] Roxanne Snook. Okanagan Institute for Biodiversity, Resilience, and Ecosystem Services (BRAES), Université de la Colombie-Britannique, campus Okanagan, 1177 Research Road, Kelowna (Colombie-Britannique), Canada V1V 1V7.

[2] Jon Mageroy, Université de la Colombie-Britannique, campus Okanagan, 3333 University Way, Kelowna (Colombie-Britannique), Canada V1V 1V7.

Le recrutement sur les sites peut également s'avérer variable pour les moules d'eau douce, avec un recrutement de juvéniles faible ou absent dans les populations plus anciennes et résiduelles. Une étude récente menée sur le recrutement des juvéniles de *G. angulata* dans le bassin hydrographique de la rivière Okanagan semble indiquer que si un recrutement suffisant a lieu dans la plupart des gisements de moules du lac Okanagan, c'est loin d'être aussi certain pour le sud de l'Okanagan (Mageroy *et al.* 2015). Toutefois, les niveaux d'incertitude associés à ces données sont importants et des relevés supplémentaires sont requis pour confirmer le caractère suffisant du recrutement pour maintenir le nombre d'individus de l'espèce *G. angulata* dans l'ensemble du bassin hydrographique de la rivière Okanagan (Jon Mageroy[2], comm. pers.).

2.3 PRINCIPAUX STADES BIOLOGIQUES ET DESCRIPTION GÉNÉRALE DES BESOINS EN MATIÈRE D'HABITAT

Les moules d'eau douce de l'ordre Unionoida sont épifauniques (à savoir qu'elles vivent sur le substrat d'une rivière ou d'un lac) au stade adulte.

On sait que différentes caractéristiques de l'habitat sont importantes pour *G. angulata*. Dans les systèmes lacustres, *G. angulata* vit dans des sédiments fins et du sable (0,6 à 2 mm) dans la zone littorale, à des profondeurs de 0,5 m à 5 m. Les sites qui présentent une exposition au vent (c.-à-d. fetch total) de 10 à 20 km offrent un habitat optimal au sein du lac Okanagan (Snook 2015); cette exposition n'a pas été modélisée dans les lacs Skaha, Vaseux ou Osoyoos. Dans les zones d'affouillement plus important (c.-à-d. action des vagues ou des courants littoraux), des individus de l'espèce *G. angulata* peuvent se trouver sous des substrats plus grossiers (128 à 256 mm) et stables, des galets et des rochers (> 256 mm) ou, dans certains cas, des pieux (c.-à-d. des refuges contre le débit) [Morales *et al.* 2006, Davis *et al.* 2013]. La pente bathymétrique, ou l'inclinaison du site, correspondant à un « banc » ou à une « faible pente » (0 à 20 %) est plus importante pour cette espèce, les inclinaisons plus abruptes étant corrélées avec une présence moindre de *G. angulata* (Snook 2015).

Dans les habitats riverains, les individus de l'espèce *G. angulata* se trouvent le long des berges (c.-à-d. pas dans le thalweg), dans les tronçons canalisés, et vivent dans les sédiments et les sables fins (0,6 à 2 mm). Des densités élevées de *G. angulata* sont également présentes juste en dessous des déversoirs. Dans ces eaux plus rapides et turbulentes, les individus de l'espèce *G. angulata* se trouvent habituellement sous les rochers (> 256 mm) et les galets grossiers (128 à 256 mm), dans des dépôts de sédiments ou de sables fins (0,6 à 2 mm).

G. angulata, comme toutes les moules d'eau douce, est un organisme filtreur omnivore. Son régime alimentaire se compose de détritus, d'algues, de bactéries et de zooplancton (Vaughn *et al.* 2008, Nedeau *et al.* 2009). Par conséquent, son alimentation aux stades juvénile et adulte exige un apport suffisant en éléments nutritifs et en détritus, ainsi que des paramètres de qualité de l'eau qui soutiennent leurs sources de nourriture et qui se trouvent dans ses limites de tolérance physiologique.

Les moules d'eau douce juvéniles sont généralement plus sensibles aux paramètres environnementaux que les moules d'eau douce au stade adulte (COSEPAC 2003). Néanmoins, les juvéniles de l'espèce *G. angulata* sont présents dans de nombreux emplacements et habitats semblables à ceux des adultes dans le bassin hydrographique de la rivière Okanagan (Mageroy *et al.* 2015). La majorité des moules juvéniles se trouvent dans le substrat, de 0 à

40 cm sous le fond du lac ou de la rivière (Mageroy *et al.* 2016[3]). Les moules juvéniles ont besoin de sédiments mous (p. ex. du limon) pour s'y enfouir, avec une pénétration continue d'oxygène dans le substrat (Geist 2005).

2.3.1 Frai

Le frai a été observé dans deux naissains distincts synchronisés en mai 2015, à Summerland, dans le lac Okanagan. Des agglomérats ont été observés du 28 mai au 23 juillet 2013 dans des températures comprises entre 11 et 25,7 °C (Roxanne Snook[1], données non publiées, 2013) et au cours du mois juin, tant en 2010 qu'en 2011 (Stanton *et al.* 2012). La libération de ces agglomérats pourrait être déclenchée par la température, d'autres facteurs ayant aussi vraisemblablement des répercussions sur la période. Ces agglomérats contiennent des glochidies matures et immatures (Stanton *et al.* 2012) qui ne restent viables que peu de temps (de quelques heures à quelques jours) en vue de trouver un hôte adapté (Spring Rivers 2007).

2.3.2 Mécanisme de répartition

La fécondation a lieu lorsque le sperme pénètre dans la femelle par le pore inhalant et féconde les œufs stockés dans l'hémibranchie. La femelle libère ensuite des larves (glochidie) enveloppées dans du mucus. On pense que ces substances mucoïdes, appelées agglomérats, imitent les proies des poissons en quête de nourriture. Une fois consommées par les poissons, certaines glochidies sont ingérées, tandis que d'autres sont rejetées de l'agglomérat et entrent en contact avec des sites de fixation adaptés, comme des branchies. Cette stratégie accroît les chances de trouver un hôte adapté, une nécessité pour la survie des glochidies au cours de ce stade biologique très sensible. En tant qu'ectoparasites obligatoires, la présence et l'abondance des poissons hôtes au cours du frai et de la métamorphose des individus de l'espèce *G. angulata* sont essentielles à leur survie. Le chabot (*Cottus* sp.) est le poisson hôte le plus fréquemment observé pour *G. angulata* dans le bassin de l'Okanagan (Mageroy *et al.* 2016[3]). D'autres espèces de poissons pourraient également jouer ce rôle d'hôte (Spring Rivers 2007, O'Brien *et al.* 2013, Mageroy *et al.* 2016[3]). Ces moules sont limitées dans leur capacité de dispersion par la présence de poissons hôtes. En raison de leur mobilité restreinte, les moules passent une majeure partie de leur vie dans le même endroit, après leur dékystement (éjection) du poisson hôte et, par conséquent, ne sont généralement pas en mesure d'échapper à des conditions défavorables. Le stade parasitaire obligatoire permet une dispersion en amont, contrairement à d'autres familles de moules d'eau douce. La dépendance de l'espèce *G. angulata* à l'égard d'un poisson hôte peut être à l'origine d'un taux de mortalité élevé chez les jeunes, mais plus faible chez les adultes. Pour persister à long terme, l'espèce *G. angulata* a besoin d'une disponibilité du poisson hôte dans les limites de son habitat essentiel désigné, d'un recrutement réussi dans un habitat adapté, et d'une disponibilité de nourriture, bien que les quantités exactes ne soient pas connues pour l'instant.

[3] Mageroy, J.H., Nield, L.M., Brownlee, S., Snook, R.M. et Walker I.R. 2016. Juvenile recruitment among Rocky Mountain Ridged Mussel (*Gonidea angulata*) in the Okanagan Valley, Colombie-Britannique. Ébauche.

3 HABITAT ESSENTIEL

3.1 INFORMATION ET MÉTHODES UTILISÉES POUR RECOMMANDER L'HABITAT ESSENTIEL

3.1.1 Approche de modélisation

Une étude récente qui modélise l'habitat adapté pour l'espèce *G. angulata* dans le lac Okanagan est utilisée pour recommander un habitat essentiel (Snook 2015). Une méthode Delphi élaborée par des experts des moules ou des écosystèmes d'eau douce (Jon Mageroy[2], Ian Walker[4], Jeff Curtis[5], Robert Plotnikoff[6] et Shelly Miller[7]) a été utilisée pour déterminer *a priori* les caractéristiques de l'habitat importantes pour l'espèce *G. angulata* afin de réduire les 147 variables des données d'inventaire et de cartographie des zones littorales pour le lac Okanagan à 12 variables stratifiées. Des variables et des calculs supplémentaires qui ne faisaient pas partie de l'ensemble des données d'inventaire et de cartographie des zones littorales (p. ex. fetch réel et poisson hôte) ont également été inclus. Des résultats de la modélisation statistique ont été utilisés pour déterminer et classer les variables importantes de l'habitat des moules. Les modèles statistiques mis en œuvre dans l'environnement « R » (version 3.02., équipe de base de développement de R 2013) comprenaient deux algorithmes de classification : « Random Forest » (forêt d'arbres décisionnels) [Breiman 2001] et « Party » (partie) [Hothorn *et al.* 2006]. Ces deux algorithmes ont permis d'obtenir constamment des résultats similaires (tableau 1, Roxanne Snook[1], données non publiées, 2013).

En écologie, les arbres de classification sont utilisés pour créer des modèles de qualité de l'habitat et prévoir la répartition des espèces (Mouton *et al.* 2010, Vezza *et al.* 2012). Des centaines de milliers d'arbres sont créés à partir d'un échantillon d'amorce, produisant une forêt d'arbres décisionnels s'appuyant sur une réponse partitionnée. Ces forêts sont aléatoires dans la sélection des variables (utilisées pour créer une réponse partitionnée) et dans la sélection d'un sous-ensemble aléatoire de variables dans lequel créer le prochain nœud, au lieu d'utiliser la totalité de l'ensemble de données (Breiman 2001). Le principal paramètre de réglage est la fonction « mtry », qui détermine le nombre de variables utilisées pour créer l'arbre (Breiman 2001). La validation du modèle a lieu à l'aide d'une validation croisée dite OOB (« out-of-bag »), permettant de comparer les données d'origine inutilisées de l'échantillon d'amorce aux arbres obtenus. Ces deux algorithmes sont utilisés en tant qu'algorithmes de classification; alors que « Random Forest » présente des résultats visuels robustes (p. ex. des courbes de dépendance partielle, annexe 4, figure 16), il peut souffrir de la présence de variables corrélées. L'algorithme « Party » illustre la corrélation entre les variables et est par conséquent utilisé pour comparer les résultats entre les procédures de classification. Les résultats de ces deux algorithmes sont identiques, à l'exception de la présence de rochers qui représente une variable

[4] Ian Walker, Université de la Colombie-Britannique, campus Okanagan, 3333 University Way, Kelowna (Colombie-Britannique), Canada V1V 1V7.

[5] Jeff Curtis, Université de la Colombie-Britannique, département des sciences de la terre et de l'environnement, campus Okanagan, 3333 University Way, Kelowna (Colombie-Britannique), Canada V1V 1V7.

[6] Robert Plotnikoff, écologiste principal des milieux aquatiques, Tetra Tech. Inc., 400 112th Ave NE Ste 400, Bellevue(Washington), États-Unis 98004.

[7] Shelly Miller, Oregon Department of Fish and Wildlife, 28655 Highway 34 Corvallis (Oregon), États-Unis 97333.

corrélée et qui, par conséquent, n'explique pas la répartition de *G. angulata* dans le lac Okanagan (

Tableau 1).

Les variables qui étaient à l'origine considérées comme importantes comprennent des attributs biotiques et abiotiques de l'habitat de la moule. Un indicateur pour l'énergie sur chaque site (c.-à-d. exposition et fetch du site) était nécessaire, étant donné que les expériences menées sur le mouvement de l'eau se sont avérées infructueuses et chronophages et, par conséquent, difficiles à répliquer. La taille des substrats a également été incluse, car certaines tailles du substrat à l'échelle des microsites présentent une corrélation avec la répartition des moules (Vannote et Minshall 1982, Strayer 1999). La présence de poissons hôtes est considérée comme l'une des composantes biotiques les plus importantes dans le cycle biologique des moules d'eau douce. Les données relatives à la chimie de l'eau n'étaient pas incluses, notamment en raison de la variabilité entre les sites et à l'intérieur des sites, et des ressources requises pour les obtenir. En outre, la connectivité régnant dans l'ensemble du bassin hydrographique de la rivière Okanagan indique que cette espèce est déjà largement répartie dans l'ensemble de ce système.

Des polygones ont été calculés d'après les données relatives à l'occupation de ces lieux (2005-2015) par des individus de l'espèce *G. angulata*. Les caractéristiques et les attributs décrits au sein des polygones ont été obtenus d'après les algorithmes de classification « Random Forest » et « Party » au moment de modéliser le caractère propice de l'habitat au sein du lac Okanagan. Une projection de ces variables à l'ensemble des autres lacs du bassin hydrographique de la rivière Okanagan, ou dans le lac Okanagan, est un exercice qui n'a pas été mené, mais qui est recommandé dans le cadre d'une prochaine étude (section 5). Les paramètres des polygones dans le lac Okanagan s'appuient sur les points de données d'inventaire et de cartographie des zones littorales et pourront être peaufinés pour obtenir des paramètres plus prudents lorsqu'une vérification sur le terrain concernant les gisements de moules aura été menée. Ces paramètres consistent aujourd'hui en des coordonnées GPS vérifiées sur le terrain des segments littoraux présentant des utilisations des terres, des types de rivages, une végétation et des substrats similaires (Schleppe et Mason 2009). Les paramètres des polygones dans tout le reste du bassin hydrographique de la rivière Okanagan s'appuient sur des points de repère distinctifs décrits par des scientifiques (lors de plongées avec tuba) qui ont ensuite pu être localisés à l'aide de Google Earth. Aucun modèle de rivière concernant les habitats propices n'a été utilisé et, par conséquent, les caractéristiques et les attributs décrits dans les polygones de rivière s'appuient sur des observations (Roxanne Snook[1], obs. pers., Jon Mageroy., C.-B., obs. pers.) et une analyse documentaire (p. ex. Davis *et al.* 2013).

3.1.2 Efforts de relevés

Les relevés récemment effectués dans les lacs, les rivières et les cours d'eau du bassin hydrographique de la rivière Okanagan ont été utilisés en tant que sources de données concernant la répartition de *G. angulata*. Ces relevés comprennent les études menées par Mageroy *et al.* (2016[3]), visant à déterminer le recrutement de juvéniles, et les relevés exploratoires de l'espèce *G. angulata* en Colombie-Britannique menés par Stanton *et al.* (2012). Les relevés historiques, actuels ou encore ceux menés par des musées sont résumés par le COSEPAC (2003 et 2010), tandis que les menaces, l'évaluation de l'espèce et les facteurs écosystémiques sont décrits dans l'Évaluation du potentiel de rétablissement de la gonidée des Rocheuses (*G. angulata*) [MPO 2011, Lauzier et Stanton 2012].

Lorsque les valeurs relatives à l'attribut de l'écosystème étaient inconnues pour l'espèce *G. angulata*, des valeurs concernant des espèces semblables ayant des aires de répartition similaires ont été utilisées aux fins de comparaison. Cependant, les moules d'eau douce présentent des aires de répartition environnementales propres à chaque espèce. Les lacunes dans les connaissances relatives à l'espèce *G. angulata* sont énumérées à la section six.

3.2 DÉSIGNATION DE L'HABITAT ESSENTIEL

Une étape importante de la délimitation de l'habitat essentiel consiste à utiliser les objectifs en matière de population ainsi que les relations de l'espèce avec les types d'habitats pour déterminer les quantités des différents habitats qui seront requises pour maintenir une population viable, et pour ensuite déterminer la localisation précise de ces habitats dans la nature. Cependant, les objectifs en matière de population et de répartition n'ont pas été déterminés pour *G. angulata*. Étant donné que cette espèce fait partie de la population en déclin des moules d'eau douce en Amérique du Nord, des efforts visant à quantifier ces objectifs sont recommandés pour les études à venir afin d'éviter la disparition de *G. angulata* du bassin hydrographique de la rivière Okanagan.

La population minimale viable (PMV) a été utilisée comme indicateur pour les objectifs en matière de population, lorsque ces objectifs n'étaient pas définis. La PMV est un concept défini comme suit : « le nombre d'individus requis pour obtenir une probabilité de persistance précise au cours d'une période donnée » (Shaffer 1981). Par exemple, la PMV a été étudiée pour deux populations de lampsiles fasciolées. Pour que la lampsile fasciolée persiste pendant une période de 250 ans (24 à 40 générations pour ladite espèce), on a calculé la PMV pour trois simulations d'événements catastrophiques aléatoires. Ces événements étaient les suivants : « i) probabilité d'occurrence, par génération, d'une catastrophe ayant un impact sur tous les stades de développement de 5 %; ii) probabilité d'occurrence, par génération, d'une catastrophe ayant un impact sur tous les stades de développement de 15 %; iii) probabilité d'occurrence d'une catastrophe, par génération, de 15 %, où 4/5 des événements catastrophiques n'auront un impact que sur les individus immatures et 1/5 auront un impact sur tous les stades de développement. » (MPO 2010).

Les PMV obtenues pour chaque scénario simulé dans la rivière Grand étaient les suivantes : environ 5 200, environ 197 000 ou environ 3 600 adultes, respectivement, en fonction de l'ampleur de chaque catastrophe (MPO 2010).

Les PMV dépendent vraisemblablement de l'espèce concernée, des stratégies liées au cycle biologique et des caractéristiques de l'habitat, où des seuils seraient difficiles à calculer (Haag 2012) et, par conséquent, ne devraient pas être calqués pour d'autres espèces ou d'autres endroits. Les relations entre la superficie et l'abondance sont incertaines pour *G. angulata*, non seulement en raison des difficultés d'échantillonnage, mais aussi en raison du profil de répartition éparse propre à cette espèce de moule. Étant donné qu'aucun objectif en matière de population n'a été déterminé pour *G. angulata*, la méthode fondée sur la PMV n'a pas été utilisée dans l'évaluation de l'habitat essentiel. Au lieu de cela, une méthode non liée à des objectifs de rétablissement a été utilisée, l'approche de la zone de délimitation (Pêches et Océans Canada 2015).

À l'aide de cette approche, l'habitat essentiel est défini par la surface comprise dans les limites des polygones désignés (annexe 2), qui comprennent les caractéristiques biophysiques et les attributs qui soutiennent les fonctions nécessaires à *G. angulata* (résumées au Tableau 2). Cela comprend des habitats qui peuvent être actuellement dégradés et inoccupés, mais dont on sait qu'ils ont été occupés par le passé. Bien que les renseignements actuels concernant le cycle biologique de *G. angulata* aient permis la détermination de certaines des fonctions, de certaines

des caractéristiques et de certains des attributs nécessaires, l'habitat essentiel désigné pourra être peaufiné à mesure que des données supplémentaires concernant l'habitat de *G. angulata* deviendront disponibles.

Aucune raison définitive ne fait consensus pour expliquer la nature éparse des gisements de moules. Les études menées sur les moules d'eau douce et leurs exigences en matière d'habitat tirent diverses conclusions en la matière et citent : la géologie (Arbuckle et Downing 2002), la taille des tronçons, la variabilité hydraulique, les régimes d'écoulement, la disponibilité de refuges, la prédation, l'abondance d'une base alimentaire et des concentrations en éléments nutritifs, et la présence de poissons hôtes (Strayer 1999, Morales *et al.* 2006, Schwalb *et al.* 2013). Ces études s'appuient sur des échelles grandes (> 100 m), moyennes (10 à 100 m) et petites (< 10 m), et constatent que les facteurs environnementaux qui limitent *G. angulata* dépendent vraisemblablement de différentes échelles spatiales et intègrent des variables biotiques et abiotiques.

En outre, on propose de désigner les sites au sein du bassin hydrographique de la rivière Okanagan dans lesquels on sait que se produit le recrutement de juvéniles en tant qu'habitat essentiel. Ces sites présentent des niveaux de conservation différents, en fonction de leur capacité à soutenir la population au sein du gisement de moules en question (Mageroy *et al.* 2016[3]). La seule étude connue examinant le recrutement de juvéniles de *G. angulata* (Mageroy *et al.* 2016[3]) a déterminé qu'un recrutement de juvéniles suffisant pour maintenir le nombre de moules avait lieu sur cinq sites du bassin de l'Okanagan, qu'un recrutement inférieur au niveau suffisant avait lieu sur trois sites, et qu'un recrutement insuffisant avait lieu sur un site (Mageroy *et al.* 2016[3]). La méthode employée pour déterminer le caractère suffisant du recrutement a été adaptée à partir de celle de Young *et al.* (2001) portant sur la mulette-perlière de l'Est *(Margaritifera margaritifera)* afin de tenir compte de la durée de vie de *G. angulata* et s'appuie sur un âge maximal estimé de 60 ans pour *G. angulata* dans la rivière Okanagan (Mageroy *et al.* 2016[3]). Étant donné que l'on sait qu'un recrutement de juvéniles a lieu sur ces sites, on propose pour l'heure de tous les désigner comme des habitats essentiels au sein du bassin hydrographique de la rivière Okanagan.

3.3 FONCTIONS BIOPHYSIQUES, CARACTÉRISTIQUES ET ATTRIBUTS DE L'HABITAT ESSENTIEL PROPOSÉ POUR *G. angulata* DANS L'HABITAT LACUSTRE

3.3.1 Désignation de l'habitat essentiel lacustre : lacs Okanagan, Skaha, Vaseux et Osoyoos

Au Canada, le lac Okanagan représente la zone la plus septentrionale de l'aire de répartition de l'espèce *G. angulata*. La moule *G. angulata* est également présente dans certains lacs plus au Sud qui y sont connectés : le lac Skaha, le lac Vaseux et le lac Osoyoos.

L'habitat essentiel lacustre de *G. angulata* présente des caractéristiques et des attributs différents de l'habitat essentiel riverain, tout en accomplissant les mêmes fonctions biophysiques dans son soutien aux différents stades biologiques de *G. angulata* (voir le tableau 2). Des juvéniles et les adultes de l'espèce *G. angulata* partagent le même habitat au sein du lac Okanagan (Mageroy *et al.* 2016[2]). À ce titre, la création de sites protégés supplémentaires pour les juvéniles n'est pas nécessaire pour assurer le recrutement de cette espèce (Mageroy *et al.* 2016[2]).

3.3.2 Modélisation des habitats propices

La modélisation écologique est une technique robuste, largement utilisée pour cartographier la répartition des espèces et décrire les niches, dont l'application s'avère utile pour les efforts de gestion et de conservation (Vezza *et al.* 2012). Les algorithmes de classification, comme l'algorithme « Random Forest », représentent des méthodes d'ensemble (calcul de la moyenne) puissantes. Les deux algorithmes mis en œuvre (« Random Forest » et « Party ») produisent des modèles dont les résultats sont robustes, modélisent les interactions complexes entre les variables et ne sont pas faussés par les variables corrélées. Plus particulièrement, les résultats de l'algorithme « Party » comprennent la mesure de la corrélation entre les variables, et leur comparaison avec ceux de l'algorithme « Random Forest » s'est donc avérée nécessaire pour éliminer toutes ces variables. Pour consulter l'ensemble des résultats obtenus, voir Snook (2015).

Les erreurs de classification de l'algorithme « Random Forest » indiquent le nombre de fois où le modèle s'est trompé dans sa prévision des sites où l'espèce *G. angulata* serait présente dans le lac Okanagan (à savoir, ce modèle avait tort 12,75 % du temps). On peut également en déduire que le modèle prévoyait avec exactitude la présence ou l'absence de l'espèce *G. angulata* 87,25 % du temps.

Tableau 1. Résultats du modèle d'habitats propices pour les variables importantes relatives à l'habitat avec les algorithmes de classification « Random Forest » et « Party ».*

Algorithme (mis en œuvre dans l'environnement « R »)	**Variables les plus importantes, de la plus importante à la moins importante**	**Principal paramètre de réglage (« mtry » : nombre de variables utilisées pour créer l'arbre)**	**Résultats**
« Random Forest »	Enfouissement Fetch Sable Rocher Pente (Snook 2015)	2 (avec le taux de mauvaise classification le plus faible, à 12,75 %)	Cet algorithme a classé cinq variables importantes pour expliquer la répartition de *G. angulata* dans le lac Okanagan (C.-B.).
« Party »	Sable Enfouissement Fetch Pente (Roxanne Snook, données non publiées, data 2015[1])	2, 3, 4, 5, 6, 7, 8	Chaque répétition a permis de trouver ces quatre variables de prévision principales (le sable et l'enfouissement se partageant la moitié du temps les deux premières places). Il s'est avéré que la présence de rochers était corrélée avec d'autres variables, et qu'elle n'explique donc pas, à elle seule, la répartition de l'espèce *G. angulata*.

*Le code utilisé est disponible à l'annexe 3.

3.3.3 Variables physiques

Substrat

La taille du substrat n'est pas une variable suffisante pour expliquer seule la répartition des moules (ni leur habitat essentiel) [Davis *et al.* 2013]. La taille du substrat doit être combinée avec d'autres variables explicatives, décrites ci-dessous. La présence de sable sur un site accroît le caractère propice d'un habitat pour *G. angulata*, tout comme l'augmentation de la présence de sable sur un site (> 20 %) [Snook 2015]. Le sable, que l'on définit comme « des particules granulaires visibles à l'œil nu », mesurant habituellement de 0,06 à 2 mm (Schleppe et Mason 2009), représente une composante importante de l'habitat de *G. angulata*, car il joue le rôle de substrat propice à la fixation du pied des individus de cette espèce. Le gravier et les galets (grains fins à grossiers) avaient été intégrés dans les premiers modèles, mais il s'est avéré qu'ils n'expliquaient pas la répartition de l'espèce *G. angulata* (Snook 2015).

Les rochers, définis comme un substrat d'une taille supérieure à 256 mm (Schleppe et Mason 2009), sous lesquels sont présents des microremous, fournissent de l'oxygène, des matières organiques ainsi qu'un milieu favorisant les dépôts et permettent la fixation des individus de l'espèce *G. angulata* (Davis *et al.* 2013). Les rochers jouent aussi un rôle de refuge contre les prédateurs, les contraintes de cisaillement, l'affouillement. Cependant, il s'est avéré que les rochers représentaient une variable fortement corrélée, ajoutant de l'instabilité au modèle utilisant l'algorithme « Random Forest », et qu'ils ne figuraient pas aux résultats de l'algorithme « Party » (

Tableau 1). Même si l'importance des rochers peut être expliquée par leur fonctionnalité, leur présence n'est pas nécessairement un élément de l'habitat essentiel dans chaque site.

Enfouissement des substrats

L'enfouissement des substrats se définit comme « la mesure dans laquelle les rochers, les galets et les autres matériaux grossiers sont recouverts de sédiments fins » (Schleppe et Mason 2009). L'enfouissement des substrats peut découler de la présence de substrats fins, de matières organiques, de sable et de vase. Dans le lac Okanagan, un enfouissement des substrats supérieur à 25 % est positivement corrélé avec la présence d'individus de *G. angulata* (Snook 2015). Le niveau d'enfouissement des substrats dépend de l'énergie régnant sur un site, ainsi que des eaux de ruissellement provenant de la terre ou des effluents de systèmes de traitement des eaux usées, et peut se traduire par la mise à disposition de nourriture et d'un milieu permettant aux moules de s'y enfouir.

Exposition du site

L'exposition du site a été évaluée au moyen du potentiel d'énergie éolienne sur chaque site. L'énergie éolienne est importante pour la création de processus de turbulences au sein d'un plan d'eau, des turbulences provoquant un mouvement de l'eau favorisant la répartition des sédiments fins, ainsi que l'apport d'éléments nutritifs et leur mise en suspension au sein d'un site. L'exposition du site a été mesurée sous la forme du fetch total, un indicateur pour le potentiel d'énergie éolienne. Le fetch représente la distance que le vent peut parcourir au-dessus de l'eau sans être ralenti par des terres. Le fetch total a été calculé à l'aide de nombreux angles de déviation par rapport aux vents dominants, en fonction des saisons (voir Hakanson 1977 pour consulter la méthode utilisée), au sein du lac Okanagan (Snook 2015). Ainsi, le fetch fournit un indicateur du potentiel d'énergie éolienne auquel chaque site du lac est exposé (Hakanson 1977, Westerbom et Jattu 2006, Callaghan *et al.* 2015). Les sites qui affichent un fetch total de 10 à 20 km affichent une corrélation avec la présence de *G. angulata* dans le lac Okanagan. Des fetchs inférieurs à 10 km et supérieurs à 20 km semblent limiter la répartition de *G. angulata*. Un site faiblement exposé (fetch < 10 km) pourra présenter un apport insuffisant en éléments nutritifs, tout comme un site très exposé (fetch > 20 km), car l'affouillement important provoqué par l'action des vagues pourra éloigner les individus juvéniles de l'espèce *G. angulata* (Spring Rivers 2007), repousser les matières organiques fines et remettre continuellement en suspension les sédiments fins, rendant l'eau exempte d'éléments nutritifs et privant les moules de nourriture (Brim Box et Mossa 1999).

Pente

Un banc ou une pente faible (0 à 20 %) représente une inclinaison propice à la fixation des individus et une surface d'interaction avec l'énergie du vent et des vagues. Cette interaction crée une turbulence et rend possible l'accumulation de sédiments fins (Hakanson 1977). Les pentes abruptes ne permettent aucune accumulation de sédiments fins (Hakanson 1977).

Profondeur

Les moules *G. angulata* se trouvent généralement à une profondeur comprise entre 0,5 et 5 m au sein de la zone littorale, et à moins de 30 m du rivage (Stanton *et al.* 2012). Des relevés ont permis de trouver des individus de *G. angulata* à des profondeurs supérieures à 7 m, notamment dans le lac Vaseux (Stanton *et al.* 2012). Des relevés menés récemment par des plongeurs en eau profonde dans le lac Okanagan n'ont pas observé de moules *G. angulata* à

des profondeurs supérieures à 5 m (Lora Nield[8], comm. pers.). Cependant, les profondeurs des lacs varient grandement le long des rivages du bassin hydrographique de la rivière Okanagan. En outre, on ne dispose d'aucune donnée bathymétrique pour utiliser le SIG dans la plupart des lacs de ce bassin hydrographique. Par conséquent, au lieu d'intégrer la profondeur comme un attribut, une largeur fixe de 80 m à partir d'une élévation de la berge de 343 m (carte TRIM) est proposée en tant que dimension des polygones, afin d'englober les caractéristiques et les attributs de l'habitat essentiel de *G. angulata*.

Paramètres chimiques

Le lac Okanagan est un lac affichant une bonne circulation qui s'écoule dans la rivière Okanagan, laquelle alimente et irrigue les lacs soutenant l'espèce *G. angulata* tout au long de sa répartition du nord au sud. Alors que l'on a déterminé que les paramètres chimiques représentaient une exigence importante en matière d'habitat pour d'autres moules d'eau douce, on peut supposer que les valeurs naturelles de la chimie de l'eau régnant dans le bassin hydrographique de la rivière Okanagan peuvent favoriser la présence de *G. angulata* dans l'ensemble de ces lacs (c.-à-d. le lac Okanagan, le lac Skaha, le lac Vaseux et le lac Osoyoos) et de la rivière Okanagan (Figure 1). Les moules de l'espèce *G. angulata* sont sensibles aux pollutions chimiques, car elles sont incapables de fuir les lieux où règnent des conditions défavorables. Les pollutions ponctuelles et diffuses représentent par conséquent un risque de mortalité pour les gisements de moules, et les individus aux stades juvéniles et rudimentaires sont particulièrement vulnérables. Les effluents d'installations de traitement des eaux usées dans le bassin de l'Okanagan peuvent contribuer aux conditions pauvres en éléments nutritifs que l'on trouve dans ce système.

Oxygène

L'oxygène est un élément essentiel à la survie et à l'exécution des fonctions métaboliques de base de cet organisme, car cette espèce respire par l'intermédiaire de branchies ciliées. Étant donné que les moules *G. angulata* passent une grande partie de leur vie complètement ou partiellement enfouies, les concentrations d'oxygène décrites ci-dessous doivent être atteintes dans les zones interstitielles du substrat et dans la zone benthique (et non dans la colonne d'eau). La survie, la reproduction et le développement de cette espèce exigent des niveaux de quasi-saturation d'oxygène dissous (Strayer 1993, Watters 1999). Des concentrations d'oxygène dissous comprises entre 90 et 110 % sont optimales pour la respiration cellulaire d'une moule d'eau douce sensible (*Margaritifera margaritifera*) [Oliver 2000]. Des concentrations d'oxygène dissous inférieures à 3 à 6 ppm sont nocives pour *G. angulata* (Strayer 1993, Watters 1999).

Conductivité/salinité

La salinité est une mesure de la teneur en sels dissous dans l'eau, des sels qui comprennent des ions tels que le sodium, le potassium, le magnésium, le calcium, le chlorure et le sulfate. Une salinité très faible ou élevée peut provoquer une baisse de la reproduction et du taux métabolique chez les moules, ainsi que de possibles mortalités (Ercan et Tarkan 2014). La salinité peut être estimée en mesurant la conductivité électrique de l'eau. Une fois cette mesure corrigée en fonction de la température, on obtient une mesure de la conductivité spécifique. Les moules transportent des ions pour maintenir un flux constant leur permettant d'exécuter leurs fonctions métaboliques et conserver un équilibre ionique au niveau cellulaire (Dietz et Findley 1980, Scheide et Dietz 1982). De faibles valeurs de la conductivité peuvent être le signe

[8]Lora Nield, ministère des Forêts, des Terres et de l'Exploitation des ressources naturelles de la C.-B. (MFTERN). 102 Industrial Place, Penticton (C.-B.) V2A 7C8

d'une indisponibilité des ions essentiels, par exemple, à la formation de coquille ou au maintien de la pression osmotique dans le liquide hémocœlique. « Par conséquent, la croissance, la diversité et la survie des moules de l'ordre des unionoïdés sont liées à la conductivité (Buddensiek 1995, McRae *et al.* 2004, Nicklin et Balas 2007) » (Snook 2015).

Une étude portant sur les habitats propices de l'espèce *G. angulata* dans la rivière Middle Fork John Day, en Oregon, a permis de déterminer que des valeurs de conductivité spécifique supérieures à 140 µS/cm présentaient une corrélation positive avec la présence de moules, alors que des valeurs inférieures présentaient une corrélation négative avec leur présence (Hegeman 2012[9]).

pH

Un pH faible (< 5,6) est nocif pour les populations d'unionoïdés et peut provoquer une dissolution de leur coquille (Fuller 1974, Kat 1984, Buddensiek *et al.* 1993, Strayer 1993). Des eaux acides sont également nocives pour les populations de poissons (Harris *et al.* 2011, Kratzer et Warren 2013) qui servent d'hôtes importants aux moules d'eau douce, une nocivité qui se répercute ensuite sur le recrutement de moules. Les pH élevés sont moins nocifs et moins inquiétants pour la survie des unionoïdés que les pH faibles (Ian Walker[3], comm. pers.). Une plage de pH comprise entre 6,5 et 7,2 a été déterminée pour autre espèce d'unionoïdés sensible, *M. margartifera* (Oliver 2000). Cependant, les valeurs de pH constatées dans le bassin hydrographique de la rivière Okanagan peuvent être en dehors de cette plage (p. ex. le pH du lac Okanagan est compris entre 7,3 et 8,5 [Mackie 2010] et le pH du lac Osoyoos est compris entre 9 et 9,5 [Booth 1969]). On peut donc supposer qu'une plage de pH supérieure sera tolérée par l'espèce *G. angulata*, au vu de sa répartition historique. Par conséquent, une plage de pH comprise entre 5,6 et 9,5 est recommandée pour la détermination de l'habitat essentiel.

Température

L'espèce *G. angulata* approche vraisemblablement de son seuil de température minimale dans la zone la plus septentrionale de sa répartition, avec un seuil de température maximale pouvant représenter une possibilité dans les scénarios de changement climatique à venir dans le bassin de l'Okanagan. Les températures minimales létales de l'eau sont propres à chaque espèce, mais on sait qu'une température inférieure à 4,8 °C est inférieure à la tolérance thermique de l'espèce *Pyrgulopsis bruneauensis* (Mladenka et Minshall 2001). Les moules perturbées à des températures inférieures à 16 °C doivent utiliser de précieuses ressources énergétiques pour se réenfouir (Mackie *et al.* 2008). La reproduction (à savoir, le rejet d'agglomérats) a été observée à des températures supérieures à 14 °C chez *G. angulata* (Roxanne Snook[1], obs. pers.). La température supérieure létale pour les unionoïdes, dans des environnements inondés et à sec (pendant de courtes durées, à savoir 96 heures) est comprise entre 31,5 et 38,8 °C (Dimock et Wright 1993, Pandolfo *et al.* 2010), ou est supérieure à 29 °C à plus long terme (Fuller 1974). Des températures de l'eau plus élevées peuvent provoquer un démarrage prématuré de la période non gravidique (phénomène observé chez d'autres moules d'eau douce).

[9] Hegeman, E.E. 2012. Modeling Freshwater Mussel Distribution in Relation to Biotic and Abiotic Habitat Variables in the Middle Fork John Day River, Oregon. *Thèse non publiée, Utah State University,* Utah.

3.3.4 Paramètres biotiques

Habitat riverain

L'habitat riverain joue de nombreux rôles essentiels dans les milieux d'eau douce (Gregory *et al.* 1991). Bien qu'aucune étude n'ait validé le rôle de l'habitat riverain pour l'espèce *G. angulata*, de plus amples études devraient être entreprises pour déterminer l'importance de cet habitat et sa quantité nécessaire à cette espèce. La rivière Okanagan et les lacs du bassin hydrographique du même nom présentent des quantités minimes d'habitats riverains dans les zones où l'on trouve l'espèce *G. angulata*.

Poissons-hôtes

La disponibilité des poissons hôtes, au sein des limites de l'habitat essentiel, est une caractéristique de l'habitat essentiel pour l'espèce *G. angulata*. En tant que parasites obligatoires, la présence et l'abondance du poisson hôte de cette espèce sont essentielles à sa survie. La fonction du poisson hôte consiste à fournir une « surface » au cours de la métamorphose des larves en juvéniles. L'enkystement des glochidies est obligatoire pour le développement fructueux sur le poisson hôte (O'Brien *et al.* 2013). Une fois la métamorphose terminée, le nouveau juvénile tombe du poisson hôte et s'enfouit dans les sédiments. De cette manière, le poisson hôte joue le rôle de vecteur de la dispersion larvaire. Alors que le poisson hôte peut appartenir à diverses espèces, voici les attributs dont il doit disposer pour être disponible : il doit être à la recherche de nourriture au moment où le frai de l'espèce *G. angulata* a lieu, il doit se trouver au même endroit (c.-à-d. aux mêmes profondeurs), il doit entrer en contact avec la larve, et il doit disposer de branchies suffisamment larges pour permettre aux glochidies de s'y fixer.

Les données de terrain collectées dans le lac Okanagan semblent indiquer que les chabots (*C. asper* [Richardson 1836] ou *C. cognatus* [Richardson 1836]) sont les principaux hôtes dans ce système, et que le naseux des rapides (*Rhinichthys cataractae* [Valenciennes 1842]), le naseux léopard (*R. falcatus* [Eigenmann et Eigenmann 1893]) et la sauvagesse du nord (*Ptychocheilus oregonensis* [Richardson 1836]) peuvent également servir d'hôtes (Stanton *et al.* 2012, Mageroy 2015). Des données sur le terrain portant sur la réussite de l'enkystement, tant pour la prévalence (c.-à-d. d'une espèce de poissons) que pour l'intensité de glochidies (c.-à-d. du nombre de glochidies enkystées dans les branchies), sont plus élevées sur le chabot (Mageroy 2015). Un enkystement fructueux a également été observé chez le naseux des rapides et le naseux léopard, mais avec une prévalence et une intensité bien moindres (Mageroy 2015). Après une courte période (10 à 11 jours) sur leur hôte (O'Brien *et al.* 2013), les individus de l'espèce *G. angulata* se dékystent et s'enfouissent dans le substrat en tant que juvéniles (moules sexuellement immatures). Si l'habitat et les conditions s'y prêtent, le recrutement peut être réussi dans ce nouvel emplacement.

Une expérience portant sur l'infestation de poissons hôtes est prévue pour 2017 afin de confirmer l'infestation en laboratoire de diverses espèces de poissons hôtes éventuels. Cependant, les observations sur le terrain et les prévisions du modèle concernant la présence du chabot semblent indiquer que ce dernier abonde dans le lac Okanagan et que, par conséquent, la disponibilité du poisson hôte n'est pas un facteur limitant le recrutement de *G. angulata* dans ce système lacustre. Moins de chabots ont été observés dans les autres lacs et rivières que dans le lac Okanagan (Jon Mageroy, données non publiées, 2015). Cette observation peut être liée à la présence d'espèces de poissons introduites, et notamment l'achigan à petite bouche (*Micropterus dolumieu*) [Jon Mageroy, comm. pers.]. Cette constatation d'une moindre présence du chabot au sud du lac Okanagan permet de supposer qu'un recrutement moindre peut se produire dans ces lacs et dans la rivière Okanagan.

3.4 FONCTIONS BIOPHYSIQUES, CARACTÉRISTIQUES ET ATTRIBUTS DE L'HABITAT ESSENTIEL PROPOSÉ POUR *G. ANGULATA* DANS LES RIVIÈRES

3.4.1 Variables physiques

Certaines caractéristiques sont identiques à celles abordées pour l'habitat lacustre : les paramètres chimiques, l'oxygène, la conductivité, le pH et la température. D'autres sont propres à l'habitat riverain de l'espèce *G. angulata* et sont abordées ci-dessous.

Habitat riverain – débit uniforme avec une faible variabilité hydraulique

La plupart des individus de l'espèce *G. angulata* sont observés en dehors du thalweg (à savoir, le point le plus bas de la rivière) dans des tronçons canalisés, le long des deux berges de la rivière Okanagan. Les berges de la rivière se caractérisent par un substrat stable sur lequel des eaux calmes se déplacent lentement (Roxanne Snook[1], obs. pers.). Les individus de l'espèce *G. angulata* vivent dans des tronçons où l'enfouissement des substrats est élevé, proche d'une couverture à 100 % par des sédiments fins, de sorte que seul leur siphon est parfois visible, ou sont enfouis dans un substrat jusqu'à 40 cm de profondeur (Jon Mageroy[2], données non publiées). La mesure de l'enfouissement comprend un mélange de sable (0,6 à 2 mm), de matières organiques, de limon et de vase. Bien qu'aucun paramètre exact quant à la vitesse de l'eau ne puisse être donné pour l'instant, le mésohabitat riverain est caractérisé comme un habitat de « plat lentique » qui se compose généralement, par définition, de sédiments fins au fond et d'une eau de surface miroitante (ce n'est ni un radier, ni un plat courant, ni une fosse). La plupart des tronçons de la rivière Okanagan où réside l'espèce *G. angulata* sont canalisés et affichent une faible variabilité hydraulique, avec moins de forces d'affouillement que les tronçons sinueux de la rivière (Roxanne Snook[1], obs. pers.).

L'habitat situé juste en dessous des déversoirs affiche également des densités élevées de *G. angulata*. Ces déversoirs peuvent favoriser la création d'habitats en créant sous eux un débit d'eau turbulent et une profondeur de l'eau quasi uniforme tout au long de l'année. Dans ces emplacements, les moules *G. angulata* se trouvent dans des refuges contre le débit, bloquées sous des rochers et des galets grossiers dans des sédiments fins.

Alors que l'on pensait que la canalisation et le dragage de la rivière Okanagan dégradaient l'habitat de prédilection de l'espèce *G. angulata* (Strayer 2008, MPO 2011), avec une perte de 93 % du chenal naturel de la rivière (Lauzier et Stanton 2012), l'endiguement et la création d'une faible variabilité du débit ont indirectement (et accidentellement) créé un habitat de prédilection pour cette même espèce. Cependant, peu d'individus de l'espèce *G. angulata* ont été trouvés dans les tronçons naturels et restaurés de la rivière Okanagan, où l'on retrouve des caractéristiques de berges identiques à celles des tronçons canalisés.

Profondeur

Les moules doivent se trouver à des profondeurs suffisantes pour disposer d'une immersion continue tout au long de l'année. Diverses raisons sont à l'origine de la variation saisonnière observée dans les niveaux d'eau de la rivière Okanagan, comme les sécheresses ou les crues printanières. Les spécimens de l'espèce *G. angulata* sont généralement observés le long des berges à une distance pouvant aller de 0,5 m de celles-ci au bord du thalweg (point le plus bas de la rivière) [Roxanne Snook[1], obs. pers., Jon Mageroy[2], obs. pers.). Le thalweg est une zone de fortes contraintes de cisaillement et de dépression de l'énergie d'affouillement, ce qui la rend inadaptée à la fixation des moules.

Barrages et déversoirs

Sous les déversoirs, on constate un nombre important de *G. angulata* dans la rivière Okanagan. Les eaux turbulentes qui s'y trouvent sont vraisemblablement riches en oxygène et offrent de parfaits mécanismes permettant la remise en suspension des sources de nourriture. Les moules *G. angulata* sont observées dans des emplacements abrités dans ces eaux turbulentes (à savoir, des refuges contre le débit qui se trouvent sous des rochers de moins de 256 mm et des galets grossiers compris entre 128 et 256 mm).

Substrat

Un substrat stable offre un refuge aux moules dans les situations où les courants sont puissants (Morales *et al.* 2006, Davis *et al.* 2013). Les rochers (> 256 mm) et les galets grossiers (128 à 256 mm) fournissent non seulement un refuge contre l'affouillement et les contraintes de cisaillement liés au mouvement de l'eau ou aux petits substrats, mais également contre les prédateurs. En outre, des mini-remous se produisent sous les rochers et les galets (Davis *et al.* 2013), créant ainsi un environnement riche en oxygène dissous et en matière organique (c.-à-d. disponibilité de nourriture) permettant le dépôt de matières organiques et de sédiments fins (c.-à-d. enfouissement des substrats) offrant aux moules un milieu qui leur permet de s'enfouir. Cette disponibilité des refuges est particulièrement importante sous les déversoirs, où des densités élevées de *G. angulata* peuvent être observées sous des substrats plus gros enfouis dans du sable (0,6 à 2 mm) et des matières organiques. Les enrochements sont des blocs rocheux conçus pour protéger les berges de la rivière. Ces enrochements créent des microhabitats pour *G. angulata* le long des tronçons de rivière canalisés.

3.4.2 Paramètres biotiques

Habitat riverain

L'habitat riverain est essentiel pour de nombreuses espèces d'organismes aquatiques (McRae *et al.* 2004, Pearson 2007, MPO 2011) Bien qu'aucune étude n'ait été menée sur *G. angulata* en ce qui concerne l'habitat riverain, on peut supposer que la végétation riveraine assume des fonctions essentielles quant à la santé de l'écosystème, des fonctions qui toucheront directement les moules *G. angulata*. Par exemple, une diminution de la végétation riveraine (c.-à-d. de l'ombre) peut provoquer une hausse de la température de l'eau tout en réduisant la quantité de détritus (c.-à-d. de la nourriture) filtrée dans la colonne d'eau par les moules. On ne connaît pas la largeur des réserves riveraines requise pour protéger des attributs potentiellement clés de l'habitat pour l'espèce *G. angulata*. On recommande de mener à l'avenir des projets d'études concernant les exigences en matière d'habitat riverain.

Poissons-hôtes

Point identique à celui concernant les attributs et les caractéristiques de l'habitat lacustre.

3.5 QUANTITÉ D'HABITATS ESSENTIELS REQUISE

Une population minimale viable (PMV) est requise pour qu'une espèce persiste sur X générations, en fonction des cibles de rétablissement et de la modélisation (l'équipe de rétablissement de la truite fardée versant de l'ouest de l'Alberta 2013, Pearson 2007). Comme nous l'indiquions plus tôt, la méthode fondée sur la PMV n'est pour l'heure pas applicable pour l'espèce *G. angulata*. Au moyen des meilleurs renseignements disponibles, l'habitat essentiel a été désigné à l'aide d'une démarche par zone de délimitation pour les populations existantes de *G. angulata* dans les lacs Okanagan, Skaha, Vaseux et Osoyoos ainsi que la rivière Okanagan.

Selon cette approche, il faut utiliser les fonctions, caractéristiques et attributs principaux à chacun des stades du cycle biologique de cette espèce pour déterminer les zones d'habitat essentiel à l'intérieur de la zone de délimitation définie à l'aide des données sur l'occupation par l'espèce (2005-2015). On s'est servi des données et des études disponibles mentionnées à la section 1.3 (Principaux stades biologiques et description générale des besoins en matière d'habitat) pour présenter, sous forme de tableau, l'information sur l'habitat aux divers stades biologiques. L'approche par zone de délimitation était la plus appropriée, compte tenu du peu d'information disponible sur l'espèce et du manque de cartographie détaillée des habitats dans ces zones. Cette approche, de même que les méthodes utilisées pour déterminer les tronçons qui constituent l'habitat essentiel, est conforme aux approches recommandées par Pêches et Océans Canada (2011) pour les moules d'eau douce.

Les moules *G. angulata* se trouvent généralement à moins de 30 m du rivage, malgré quelques exceptions dans le lac Okanagan (Stanton *et al.* 2012). Par mesure de précaution, une distance fixe de 80 m par rapport au rivage a été recommandée d'après ces observations, de manière à englober la majorité des profondeurs d'eau auxquelles se trouvent les moules *G. angulata* dans le bassin de l'Okanagan (Sean MacConnachie, Pêches et Océans Canada, Nanaimo [C.-B.], comm. pers.). Lorsque des données bathymétriques seront mises à disposition, elles pourront être utilisées pour rajuster l'habitat essentiel par rapport aux profondeurs appropriées (p. ex. 5 à 7 m) plutôt que par rapport à une distance fixe du rivage. Cet exercice est recommandé à la section 5 sous la forme d'un projet qui permettrait d'améliorer la précision de l'habitat essentiel proposé pour l'espèce *G. angulata*.

L'étendue géographique de l'habitat recommandée dans le présent rapport, en combinaison avec le recrutement insuffisant constaté dans certaines parties du bassin hydrographique de la rivière Okanagan (Mageroy *et al.* 2016[3]), semble indiquer qu'un habitat insuffisant est actuellement occupé pour maintenir cette population. L'étendue géographique totale de l'habitat essentiel proposé au moyen de l'approche par zone de délimitation représente 3,35 km^2 (2 646 552 m^2 d'habitat lacustre [tableau 3] et 708 770 m^2 d'habitat riverain [tableau 4]), et n'inclut que des sites où la présence de l'espèce *G. angulata* a été confirmée depuis 2005 (tableau 5). Il est impossible à l'heure actuelle d'indiquer l'étendue de l'habitat essentiel requis pour cette population, étant donné qu'aucun objectif de rétablissement n'a été établi. En outre, de nombreux détails concernant le cycle biologique et l'écologie de cette espèce demeurent inconnus, notamment les menaces pesant sur le rétablissement de l'espèce et les rôles joués par le recrutement de poissons hôtes juvéniles et la connectivité de l'habitat. Alors qu'une étude récente indique qu'un recrutement des juvéniles suffisant a lieu dans quelques sites au sein du lac Okanagan, ces résultats comportent une certaine incertitude liée à la détermination de l'âge des individus de l'espèce *G. angulata* (Mageroy *et al.* 2016[3]). S'agissant des sites se trouvant au sud du lac Okanagan, le caractère suffisant du recrutement des juvéniles pour maintenir les populations de moules est encore moins sûr (Jon Mageroy[2], comm. pers.).

Tableau 2. Fonctions, caractéristiques et attributs essentiels de l'habitat essentiel pour chaque étape du cycle de vie de G. angulata* *dans le bassin hydrographique de la rivière Okanagan (habitats lacustres et riverains).*

Stade biologique	Fonction	Caractéristique(s)	Attribut(s)	Paramètre(s) commun(s) de caractéristiques
Adultes	Frai et fécondation	Habitat lacustre	• Exposition du site (c.-à-d. fetch réel) de 6 km à 20 km • Banc ou pente faible/inclinaison du site (de 0 % à 20 %) • Présence de rochers (> 256 mm) et de galets grossiers (128 mm à 256 mm) [Stanton et al. 2012] • Zones polygonales qui correspondent à 80 m à partir d'une élévation de la berge de 343 m (carte TRIM)	• Disponibilité de nourriture • Disponibilité de sable (0,6 mm à 2 mm) en grande quantité (> 20 %), intégration au substrat moyenne à élevée (> 25 %) pouvant contenir un mélange de sable, de limon, de boue et de matières organiques (Stanton *et al.* 2012, Snook 2015) • Paramètres de la qualité de l'eau (oxygène > 3 ppm à 6 ppm et pH se situant entre 5,6 et 9,5) à l'intérieur de la plage de variation naturelle • Température de l'eau > 14 °C pour la période de libération d'un agglomérat • Disponibilité d'un poisson hôte adéquat (espèce et abondance); chabot (*Cottus* sp.) et possiblement d'autres espèces
	Reproduction (glochidies libérées sous la forme d'agglomérats de mai à juillet)			

Stade biologique	Fonction	Caractéristique(s)	Attribut(s)	Paramètre(s) commun(s) de caractéristiques
Suite	Frai et fécondation	Habitat riverain	• Berges stables d'une profondeur de 0,5 m à 5 m (fond de la rivière) • Faible variabilité hydraulique (Davis *et al.* 2013), c.-à-d. rivière canalisée, plat lentique • Disponibilité d'écoulement d'eau continu toute l'année • Refuge contre le débit (sous la forme de rochers [> 256 mm] ou de galets grossiers [de 128 mm à 256 mm] dans le substrat stable), particulièrement en dessous des déversoirs	Suite
	Reproduction (glochidies libérées sous la forme d'agglomérats de mai à juillet)			

Stade biologique	Fonction	Caractéristique(s)	Attribut(s)	Paramètre(s) commun(s) de caractéristiques
Juvéniles (après le dékystement ou le détachement de l'hôte)	Croissance jusqu'au stade de reproduction (de six à sept ans dans la vallée de l'Okanagan).	Habitat lacustre	• Exposition du site (c.-à-d. fetch réel) de 6 km à 20 km • Banc ou pente faible/inclinaison du site (de 0 % à 20 %) • Présence de rochers (> 256 mm) et de galets grossiers (128 mm à 256 mm) [Stanton et al. 2012] • Zones polygonales qui correspondent à 80 m à partir d'une élévation de la berge de 343 m (carte TRIM)	• Disponibilité de nourriture • Disponibilité de sable (0,6 mm à 2 mm) [> 20 %], intégration au substrat moyenne à élevée (> 25 %) pouvant contenir un mélange de sable, de limon, de boue et de matières organiques (Stanton *et al.* 2012, Snook 2015) • Paramètres de la qualité de l'eau (oxygène > 3 ppm à 6 ppm et pH se situant entre 5,6 et 9,5) à l'intérieur de la plage de variation naturelle • Disponibilité d'un poisson hôte adéquat (espèce et abondance); c.-à-d. chabot (*Cottus* sp.) et possiblement d'autres espèces
		Habitat riverain	• Refuge contre le débit (sous la forme de rochers [> 256 mm] ou de galets grossiers [de 128 mm à 256 mm] dans le substrat stable), particulièrement en dessous des déversoirs • Faible variabilité hydraulique (Davis *et al.* 2013), c.-à-d. rivière canalisée, plat lentique • Disponibilité d'écoulement d'eau continu toute l'année • Berges stables d'une profondeur de 0,5 m à 5 m (fond de la rivière)	

Stade biologique	Fonction	Caractéristique(s)	Attribut(s)	Paramètre(s) commun(s) de caractéristiques
Juvénile et adulte	Quête de nourriture	Habitat lacustre	• Exposition du site (c.-à-d. fetch réel) de 6 km à 20 km • Banc ou pente faible/inclinaison du site (de 0 % à 20 %) [Snook 2015] • Disponibilité de sable (0,6 mm à 2 mm) en grande quantité (> 20 %), intégration au substrat moyenne à élevée (> 25 %) pouvant contenir un mélange de sable, de limon, de boue et de matières organiques (Stanton *et al.* 2012, Snook 2015) • Présence de rochers (> 256 mm) et de galets grossiers (128 mm à 256 mm) [Stanton et al. 2012] • Zones polygonales qui correspondent à 80 m à partir d'une élévation de la berge de 343 m (carte TRIM)	• Disponibilité de nourriture • Disponibilité de sable (0,6 mm à 2 mm) [> 20 %], intégration au substrat moyenne à élevée (> 25 %) pouvant contenir un mélange de sable, de limon, de boue et de matières organiques (Stanton *et al.* 2012, Snook 2015) • Paramètres de la qualité de l'eau (oxygène > 3 ppm à 6 ppm et pH se situant entre 5,6 et 9,5) à l'intérieur de la plage de variation naturelle
		Habitat riverain	• Berges stables d'une profondeur de 0,5 m à 5 m (fond de la rivière) • Disponibilité d'écoulement d'eau continu toute l'année • Refuge contre le débit (sous la forme de rochers [> 256 mm] ou de galets grossiers [de 128 mm à 256 mm] dans le substrat stable), particulièrement en dessous des déversoirs • Faible variabilité hydraulique (Davis *et al.* 2013), c.-à-d. rivière canalisée, plat lentique	

**renseignements confirmés ou appuyés par les données existantes*

Les études visant à approfondir les connaissances sur les fonctions, les caractéristiques et les attributs essentiels aux divers stades biologiques de l'espèce *G. angulata* sont décrites à la section 5 (Calendrier des études visant à désigner l'habitat essentiel).

4 ASPECTS GÉOGRAPHIQUES DE LA DÉSIGNATION

Les courtes descriptions suivantes comprennent chaque plan d'eau dans lequel des moules de l'espèce *G. angulata* sont présentes dans le bassin de l'Okanagan. D'autres zones pourraient être recommandées en tant qu'habitat essentiel au fur et à mesure qu'elles sont explorées.

Lac Okanagan

La modification d'un pourcentage estimé à 80 % des rives et des zones littorales où l'on « trouve présentement ces moules a eu un impact majeur » sur leur habitat (MPO 2011). Les prévisions modélisées obtenues dans le cadre d'une étude récente semblent indiquer que des sites d'habitat optimal existent dans la zone de Mission, à Kelowna (en plus des 25 sites où la présence des moules est déjà connue dans ce lac). Les moules *G. angulata* sont réparties dans l'ensemble de ce lac, mais présentent des densités plus élevées et occupent plus de sites dans sa partie sud, à proximité de Summerland et de Penticton.

Lac Skaha

« La plupart des rives du lac Skaha ont été modifiées par la construction de routes, de lignes de chemin de fer et de maisons » (MPO 2011). Très peu d'individus de l'espèce *G. angulata* se trouvent le long du chemin Eastside. Cette zone présente une teneur en limon très élevée.

Lac Vaseux

Ce lac est protégé en tant que refuge d'oiseaux, mais les moules *G. angulata* y ont fait l'objet de braconnage (Roxanne Snook[1], obs. pers. 2014; garde de parc, terrain de camping du parc provincial du lac Vaseux comm. pers. 2015). Une faible abondance de *G. angulata* a été observée en 2015 sur un site de ce lac, un site désigné autrefois comme présentant une abondance élevée (Sean MacConnachie, données non publiées 2015). L'achigan à petite bouche y est bien établi et très peu de chabots y sont observés. D'autres poissons hôtes peuvent être présents, mais il est possible que cette population de moules soit devenue une population résiduelle affichant potentiellement un recrutement faible. La température de l'eau dans ce lac est proche de la limite thermique supérieure (environ 30 °C) pour la moule *G. angulata*. Certains relevés effectués dans le lac Vaseux ont trouvé des températures de 27 °C (Roxanne Snook[1], données non publiées 2013). Ce lac représente sans doute un prolongement de la rivière Okanagan, avec une hydrodynamique se rapprochant plus de celle d'une rivière que de celle d'un lac (c.-à-d. présentant un écoulement laminaire constant).

Lac Osoyoos

Des relevés historiques de moules *G. angulata* existent au sein du lac Osoyoos (au nord de la frontière canadienne). Il s'agit d'un lac productif (mésotrophique) présentant une croissance des algues généralisée (Rae 2005, cité dans MPO 2011) et des températures chaudes pendant l'été. Aucune moule n'a été trouvée au cours des relevés menés en 2013 et en 2014.

Ruisseau Park Rill

L'espèce *G. angulata* reste désormais introuvable dans ce ruisseau. Les relevés historiques proviennent certainement de l'époque où la rivière Okanagan empruntait le cours actuel du ruisseau Park Rill. Le détournement de la rivière et la présence de barrage de castors ont fait de ce ruisseau un système hydrographique à faible courant. Conjugué avec le ruissellement agricole en amont, l'accès au ruisseau par le bétail et l'augmentation de la végétation aquatique, ce ruisseau devrait dorénavant être considéré comme un habitat inapproprié pour *G. angulata* (Jon Mageroy[2] et Roxanne Snook[1], obs. pers. 2015).

Rivière Okanagan

G. angulata est présente dans l'ensemble de la rivière Okanagan, qui coule de l'extrémité sud du lac Okanagan et relie tous les lacs de l'Okanagan. La Colombie-Britannique compte trois segments de cette rivière :

1. du sud du lac Okanagan au nord du lac Skaha (en passant par Penticton);
2. du sud du lac Skaha au nord du lac Vaseux (en passant par les chutes Okanagan);
3. du sud du lac Vaseux au nord du lac Osoyoos (en passant par Oliver) [figure 1, tableau 4].

L'espèce *G. angulata* présente des densités notablement plus fortes le long des tronçons canalisés et est presque absente des tronçons naturels de la rivière Okanagan. Très peu de moules *G. angulata* peuvent être trouvées le long du premier segment de la rivière Okanagan. Dans le deuxième segment, l'espèce *G. angulata* affiche sa plus haute densité dans l'embouchure de la rivière à partir du lac Vaseux. Les densités riveraines les plus élevées de moules *G. angulata* sont constatées le long du troisième segment, en partant d'Oliver et jusqu'à l'embouchure de la rivière dans le lac Osoyoos. Le barrage du lac Okanagan, le barrage des chutes Okanagan et les barrages McIntyre et Zosel régulent les niveaux d'eau et la décharge du lac Okanagan, et des lacs Skaha, Vaseux et Osoyoos respectivement (Pêches et Océans Canada 2011), et on recense de nombreux déversoirs le long de la rivière Okanagan.

Figure 1. Aire de répartition canadienne de l'espèce G. angulata *(points noirs) au sein du bassin hydrographique de la rivière Okanagan, en Colombie-Britannique (Snook 2015, carte reproduite avec l'autorisation de l'auteur).*

Les endroits suivants représentant des habitats essentiels potentiels pour *G. angulata* ont été obtenus à l'aide de la démarche par zone de délimitation. Selon cette approche, il faut utiliser les

fonctions, caractéristiques et attributs principaux à chacun des stades du cycle biologique de cette espèce pour déterminer les zones d'habitat essentiel à l'intérieur de la zone de délimitation définie à l'aide des données sur l'occupation par l'espèce (2005-2015). Les zones dans lesquelles se trouve l'habitat essentiel de l'espèce *G. angulata* sont illustrées dans les figures 6 à 15 et correspondent à la liste de coordonnées figurant aux tableaux 3 et 4. Les bordures de ces coordonnées représentent des points de repère distinctifs et ne sont pas représentatives des points de départ et de fin des gisements de moules. Ces points de repère distinctifs s'appuient sur les données d'inventaire et de cartographie des zones littorales pour le lac Okanagan ainsi que sur les descriptions effectuées par les chercheurs sur le terrain. La détermination de points de repère distinctifs a été faite aux fins de cartographie (p. ex. consignation des coordonnées dans Google Earth) et de description des sites pour les chercheurs qui retournent sur les lieux. Même s'il s'agit des meilleures données dont on dispose à l'heure actuelle, on recommande de mener un relevé de validation au moyen d'un système de positionnement global précis pour cartographier les lieux à l'avenir. Un exercice de cartographie mené dans le cadre de la thèse de Snook (2015) prévoyait la présence d'habitats essentiels potentiels supplémentaires, et on recommande que ces sites fassent l'objet d'un relevé pour confirmer ou infirmer cette présence (voir l'annexe 2).

Tableau 3. Coordonnées des limites des polygones pour l'espèce G. angulata *dans les lacs Okanagan, Skaha, Vaseux et Osoyoos. Mercator transverse universelle (MTU) 11. Les dates consignées concernant les présences de cette espèce sont classées selon les catégories suivantes : actuelle (de 2005 à 2015), récente (des années 1990 à 2004) et passée (avant les années 1990). Données provenant de sources multiples : Jon Mageroy* et al. *2016*[3]*, Snook, R., données non publiées. Données, EcoCat consulté en décembre 2015.*

Segment	**MTU de départ**	**MTU de fin**	**Distance entre les points de repère (en m)**	**Superficie approx. (en m^2) [la largeur de tous les segments mesure 80 m à partir des données d'élévation de la berge de 343 m [carte TRIM])**	**Présence (actuelle, récente, passée)**
Lac Okanagan 20	307163 5500612	307625 5500340	907,4	72 592	Actuelle
Lac Okanagan 21	307625 5500340	308013 5499679	829,4	66 352	Actuelle
Lac Okanagan 22	308013 5499679	308297 5498817	1 047,8	83 824	Actuelle
Lac Okanagan 23	308297 5498817	308351 5498748	109,9	8 792	Actuelle
Lac Okanagan 24	308351 5498748	308387 5497952	1 064,7	85 176	Actuelle

Segment	MTU de départ	MTU de fin	Distance entre les points de repère (en m)	Superficie approx. (en m^2) [la largeur de tous les segments mesure 80 m à partir des données d'élévation de la berge de 348 m [carte TRIM])	Présence (actuelle, récente, passée)
Lac Okanagan 25	308389 5497950	308381 5497763	239,6	19 168	Actuelle
Lac Okanagan 26	308381 5497763	308336 5497681	154,0	12 320	Actuelle
Lac Okanagan 27	308336 5497681	308627 5496874	1 048,9	83 912	Actuelle
Lac Okanagan 28	308627 5496874	308859 5495744	1 170,6	93 648	Actuelle
Lac Okanagan 29	308859 5495744	308992 5495702	145,8	11 664	Actuelle
Lac Okanagan 30	308992 5495702	308855 5495742	714,1	57 128	Actuelle
Lac Okanagan 39	309728 5491310	309875 5491102	339,5	27 160	Actuelle
Lac Okanagan 40	313844 5489084	313119 5486973	289,3	23 144	Actuelle
Lac Okanagan 41	310024 5490855	310092 5490621	310,9	24 872	Actuelle
Lac Okanagan 42	310636 5487124	310777 5486763	417,8	33 424	Actuelle
Lac Okanagan 43	310988 5486687	310777 5486763	556,1	44 488	Actuelle
Lac Okanagan 44	312057 5486772	310988 5486687	1 419,5	113 560	Année de consignation inconnue
Lac Okanagan 50	313919 5490235	314106 5489680	618,0	49 440	Actuelle

Segment	MTU de départ	MTU de fin	Distance entre les points de repère (en m)	Superficie approx. (en m^2) [la largeur de tous les segments mesure 80 m à partir des données d'élévation de la berge de 348 m [carte TRIM])	Présence (actuelle, récente, passée)
Lac Okanagan 51	313752 5490666	313919 5490235	642,4	51 392	Actuelle
Lac Okanagan 63	310342 5503223	312088 5498968	5 139,9	411 192	Actuelle
Lac Okanagan 70	309151 5504567	308676 5504946	656,4	52 512	Actuelle
Lac Okanagan 235	317925 5526817	317557 5525607	1 522,1	121 768	Actuelle
Lac Okanagan 266	332126 5567545	331764 5567481	409,4	32 752	Actuelle
Lac Okanagan 273	330131 5568359	332260 5569014	2 419,4	193 552	Actuelle
Lac Okanagan 274	328980 5567189	330131 5568359	1 740,3	139 224	Actuelle
Lac Okanagan 305	334171 5578614	335362 5579968	6 255,2	500 416	Actuelle
Lac Skaha – polygone 1	313325 5477944	313186 5478246	330	26 400	Actuelle
Lac Skaha – polygone 2	313732 5475712	313724 5475903	192	15 360	Actuelle
Lac Skaha – polygone 3	313843 5475228	313873 5474997	244	19 520	Actuelle
Lac Skaha – polygone 4	313193 5469321	313363 5469604	350	28 000	Actuelle
Lac Skaha – polygone 5	312955 5469306	312784 5469245	180	14 400	Actuelle

Segment	MTU de départ	MTU de fin	Distance entre les points de repère (en m)	Superficie approx. (en m^2) [la largeur de tous les segments mesure 80 m à partir des données d'élévation de la berge de 348 m [carte TRIM])	Présence (actuelle, récente, passée)
Lac Skaha – polygone 6	312589 5471206	312567 5471111	97	7 760	Actuelle
Lac Skaha – polygone 7	312677 5470672	312613 5470848	197	15 760	Actuelle
Lac Skaha – polygone 8	313719 5472562	313579 5472462	170	13 600	Actuelle
Lac Skaha – polygone 9	313869 5474813	313859 5474937	130	10 400	Actuelle
Lac Skaha – polygone 10	312898 5479728	312898 5479728	0	0	Passée
Lac Vaseux – polygone 1	315958 5463856	316102 5463504	380	30 400	Actuelle
Lac Vaseux – polygone 2 (à l'embouchure de la rivière Okanagan)	316324 5460937	316067 5460802	310	24 800	Actuelle
Lac Vaseux 3	316499 5462451	316747 5461602	905	72 400	Actuelle
Lac Osoyoos – polygone 1	315444 5438748	315771 5438185	638	51 040	Actuelle
Lac Osoyoos – polygone 2	316022 5437983	316128 5437802	210	16 800	Actuelle
Lac Osoyoos – polygone 3	321398 5432509	320969 5432246	1 355 (largeur de 170 m recommandée)	230 350	Passée

Tableau 4. Coordonnées des emplacements de G. angulata *au sein des segments de la rivière Okanagan. La longueur, la largeur et la superficie approximative sont les dimensions des polygones dans lesquels se trouvent un ou plusieurs gisements de moules. Toutes les données sont des observations actuelles (2005-2015) [Jon Mageroy[2], données non publiées]. Mercator transverse universelle (MTU) 11.*

Segment	MTU de départ	MTU de fin	Distance entre les points de repère (en m)	Largeur moyenne	Superficie approx. (m^2)	Type de rivière	*G. angulata* (n^{bre} observé)
Rivière Okanagan, de la lagune inférieure, au sud du lac Vaseux jusqu'au barrage McIntyre	315893 5460233	316031 5459087	1 190	45	53 550	Canalisée	32
Rivière Okanagan, d'un aménagement à un pont routier	315862 5457345	314959 5456085	1 720	31	53 320	Naturelle	1
Canal Penticton, de l'ancien pont au virage	311331 5484584	311630 5484294	420	24	10 080	Canalisée	2
Rivière Okanagan, du chenal de frai au premier méandre restauré	314343 5453315	314050 5452836	520	23	11 960	Canalisée	5
Rivière Okanagan, du pont d'Oliver au premier déversoir	314361 5451058	314880 5449987	1 110	27	29 970	Canalisée	46
Rivière Okanagan, du premier déversoir au deuxième déversoir	314880 5449987	314729 5448978	1 070	27	28 890	Canalisée	63
Rivière Okanagan, du deuxième déversoir au pont du chemin Thorp	314729 5448978	314292 5448306	800	28	22 400	Canalisée	71
Rivière Okanagan, du chemin Thorp au troisième déversoir	314292 5448306	313525 5447532	1 090	30	32 700	Canalisée	162
Rivière Okanagan, du troisième déversoir au quatrième déversoir	313525 5447532	312777 5446789	1 060	28	29 680	Canalisée	83
Rivière Okanagan, du quatrième déversoir au pont de la route n° 9	312777 5446789	312509 5446515	380	27	10 260	Canalisée	12
Rivière Okanagan, du pont de la route n°18 au premier déversoir	312742 5443345	313501 5442262	1 320	29	38 280	Canalisée	150

Segment	MTU de départ	MTU de fin	Distance entre les points de repère (en m)	Largeur moyenne	Superficie approx. (m^2)	Type de rivière	*G. angulata* (n^{bre} observé)
Rivière Okanagan, du premier déversoir au pont de la route n° 22	313501 5442262	314903 5440465	2 280	34	77 520	Canalisée	160
Rivière Okanagan, du pont de la route n°22 au deuxième déversoir	314903 5440465	315243 5440058	530	25	13 250	Canalisée	111
Rivière Okanagan, du deuxième déversoir au lac Osoyoos	315243 5440058	316119 5438962	1 410	40	56 400	Canalisée	99
Rivière Okanagan – Oliver, du premier déversoir à la passerelle piétonnière	314115 5452194	314232 5451627	580	24	13 920	Canalisée	84
Rivière Okanagan – Oliver, de la passerelle piétonnière au parc Kinsmen (pont au 255, chemin Fairview)	314232 5451627	314361 5451058	580	23	13 340	Canalisée	369
Rivière Okanagan, du déversoir/pont de la route n° 9 au déversoir de la route n° 15	312509 5446515	312361 5444522	2 220	28,5	63 270	Canalisée	252
Rivière Okanagan, de la route n° 15 au déversoir suivant	312361 5444522	312511 5443763	780	26	20 280	Canalisée	297
Rivière Okanagan, du déversoir à la route n° 18	312511 5443763	312742 5443345	490	26	12 740	Canalisée	46
Rivière Okanagan, du déversoir n° 15 au déversoir n° 14	312810 5467482	313330 5466680	960	44	42 240	Canalisée	1
Rivière Okanagan, du déversoir n° 14 au début du premier virage	313330 5466680	314012 5466140	880	44	38 720	Canalisée	2
Rivière Okanagan, de la ligne à haute tension au deuxième virage	314100 5465968	314552 5465500	800	45	36 000	Canalisée	1

Tableau 5. Résumé de la superficie des polygones décrits aux tableaux 3 et 4 avec la largeur proposée de 80 m. Les polygones ne contiennent que des sites dans lesquels des moules G. angulata *sont actuellement recensées (c.-à-d. de 2005 à 2015) dans le bassin hydrographique de la rivière Okanagan. Données provenant de sources multiples : Jon Mageroy[3], données non publiées, Snook, R., données non publiées[1]. EcoCat consulté en décembre 2015.*

Emplacement	Longueur du segment (m)	Largeur approximative (m)	Superficie approximative (m^2)	Superficie approximative (km^2)
Canal Penticton	420	24	10 080	0,01008
Entre le lac Skaha et le lac Vaseux	2 640	Entre 44 et 45	116 960	0,11696
Directement sous le lac Vaseux, avant Oliver	2 910	Entre 45 et 31	106 870	0,10687
D'Oliver à Osoyoos	16 220	Entre 23 et 40	474 860	0,47486
Habitat riverain total	**22 190**	-	**708 770**	**0,70877**
Lac Okanagan	28 748,9	80	2 299 912	2,299912
Lac Skaha	1 890	80	151 200	0,1512
Lac Vaseux	1 595	80	127 600	0,1276
Lac Osoyoos	2 203	80	67 840	0,06784
Habitat lacustre total	**33 081,9**	-	**2 646 552**	**2,646552**
Somme des habitats riverains et lacustres	**55 271,9**	-	**3 355 322**	**3,355322**

Les relevés les plus récents menés en 2013, en 2014 et en 2015 ont découvert de nombreux nouveaux sites où des moules *G. angulata* étaient présentes dans le bassin hydrographique de la rivière Okanagan. Ces sites supplémentaires découlent de l'augmentation du nombre de relevés et ne sont pas considérés comme de nouvelles populations de *G. angulata* depuis les relevés de 2009.

5 ACTIVITÉS SUSCEPTIBLES DE DÉTRUIRE L'HABITAT ESSENTIEL

La destruction de l'habitat se définit comme suit :

« Il y a destruction de l'habitat essentiel lorsqu'une partie de l'habitat essentiel s'est dégradée, de façon permanente ou temporaire, au point où l'habitat n'est plus en mesure de remplir ses fonctions pour répondre aux besoins de l'espèce. La destruction peut découler d'une ou de plusieurs activités ponctuelles ou des effets cumulatifs d'une ou de plusieurs activités au fil du temps » (Pêches et Océans Canada 2015).

Les activités qui risquent de détruire de manière permanente ou temporaire l'habitat essentiel de *G. angulata* sont décrites dans le tableau 6. Elles comprennent l'aménagement des terres à des fins d'extraction des ressources ou de construction de résidences privée, qui modifie les apports en sédiments dans les sources d'eau environnantes. La mise en valeur de l'habitat d'autres espèces (p. ex. les salmonidés) peut modifier les caractéristiques permettant l'établissement de *G. angulata* ou qui y sont associées. Les pressions exercées par les activités touristiques dans le bassin de l'Okanagan entraînent le retrait de macrophytes aquatiques envahissants par une extraction de racines attribuable au labourage au motoculteur. Cette activité modifie le substrat, accroît la turbidité et écrase les organismes benthiques sédimentaires. Les effets cumulatifs liés à la construction de quais dans des moulières peuvent aujourd'hui avoir des répercussions considérables sur leur habitat. Le dragage effectué dans des lieux où l'on trouve des sédiments lourds, des détritus ou des sorties d'eaux usées peut éliminer du substrat et des moules. Les changements du niveau d'eau peuvent être conséquents dans le bassin de l'Okanagan, entre autres en raison de la faible accumulation de neige, des sécheresses, des prélèvements d'eau élevés et de la demande énergétique. Les espèces envahissantes, parmi lesquelles l'achigan à petite bouche et *Dreissena sp.*, peuvent modifier la structure du réseau trophique (Mackie 1991). Le déversement de substances polluantes et d'autres scénarios de pollution ponctuelle peuvent causer une mortalité massive immédiate de moules, tandis que les répercussions causées par une pollution diffuse peuvent passer inaperçues pendant des années en cas de réduction du recrutement.

Tableau 6. Activités susceptibles d'entraîner la destruction de l'habitat essentiel de G. angulata. *La séquence des effets de chaque activité est indiquée, de même que les liens potentiels avec les fonctions, les caractéristiques et les attributs biophysiques de l'habitat essentiel décrits au tableau 2.*

Menace	Activité	Séquence des effets	Fonction touchée	Caractéristique touchée	Attribut touché
Activités qui génèrent un apport important en sédiments	Travaux effectués dans l'habitat essentiel et autour de celui-ci avec retrait excessif de la végétation riveraine et mauvais contrôle des sédiments et de l'érosion (p. ex. construction de ponts, de ponceaux), écoulement provenant de l'aménagement des terres urbain, résidentiel, agricole et industriel, utilisation d'équipement industriel, nettoyage et entretien de ponts, de drains et d'autres structures sans mesures d'atténuation appropriées.	Des mesures inadéquates de contrôle ou d'atténuation des sédiments et de l'érosion peuvent entraîner une augmentation de la turbidité et des dépôts de sédiments. Un apport considérable en sédiments dans la rivière ou le cas pourrait nuire à la capacité d'osmorégulation de *G. angulata* et empêcher le poisson hôte d'entrer en contact avec les agglomérats.	Frai et fécondation	Habitat lacustre et riverain	• Paramètres de la qualité de l'eau (oxygène et pH) dans la fourchette de variation naturelle • Sédimentation dans la fourchette de variation naturelle • Disponibilité de sable (0,6 mm à 2 mm) en grande quantité (> 20 %), intégration au substrat moyenne à élevée (> 25 %) pouvant contenir un mélange de sable, de limon, de boue et de matières organiques (Stanton *et al.* 2012, Snook 2015) • Berges stables d'une profondeur de 0,5 m à 5 m (habitat riverain seulement) • Habitat convenable pour le poisson hôte

Menace	Activité	Séquence des effets	Fonction touchée	Caractéristique touchée	Attribut touché
Suite	Suite	Suite	Suite	Suite	• Quête de nourriture du poisson hôte synchronisée avec la libération de l'agglomérat, en quelques heures ou quelques jours • Habitat convenable pour le poisson hôte • Refuge contre le débit (sous la forme de rochers [> 256 mm] ou de galets grossiers [de 128 mm à 256 mm] dans le substrat stable), particulièrement en dessous des déversoirs (habitat riverain seulement) • Berges stables d'une profondeur de 0,5 m à 5 m (habitat riverain seulement) • Faible variabilité hydraulique (Davies *et al.* 2013), c.-à-d. rivière canalisée, plat lentique (habitat riverain seulement)

Menace	Activité	Séquence des effets	Fonction touchée	Caractéristique touchée	Attribut touché
Modification de l'habitat à des fins d'utilisation par les humains	Perturbation ou perte de l'habitat littoral et riverain (p. ex. labourage au motoculteur du myriophylle en épi). Installation et entretien de quais, de pieux, d'épis et de jetées. Dragage, nivellement, excavation, enlèvement de structures et construction de barrages ou d'obstacles. Modification de la composition et de la forme du lit de la rivière pour la mise en valeur du saumon.	Il entraîne des perturbations et peut recouvrir l'habitat de prédilection. Il peut enterrer et écraser les moules. On recommande la coupe ou l'enlèvement comme méthode de rechange dans les sites où *G. angulata* est présente. La construction de quais peut écraser ou enterrer des moules au moment de mettre en place les pieux. Les épis peuvent modifier la circulation de l'eau et perturber ou couvrir le substrat de prédilection. Les modifications de rivières pour l'habitat du saumon entraînent une réduction de l'habitat convenable disponible pour *G. angulata*.	Frai et fécondation Reproduction Croissance Quête de nourriture	Habitat lacustre et riverain	• Paramètres de la qualité de l'eau (oxygène, température et pH) dans la fourchette de variation naturelle • Sédimentation dans la fourchette de variation naturelle • Disponibilité de sable (0,6 mm à 2 mm) en grande quantité (> 20 %), intégration au substrat moyenne à élevée (> 25 %) pouvant contenir un mélange de sable, de limon, de boue et de matières organiques (Stanton *et al.* 2012, Snook 2015) • Banc ou pente faible/inclinaison du site (de 0 % à 20 %) Profondeur de l'eau de 0,5 m à 5 m le long de la zone littorale (habitat lacustre) • Disponibilité de nourriture • Disponibilité d'un poisson hôte adéquat (espèce et abondance); chabot (*Cottus* sp.) et possiblement d'autres espèces

Menace	Activité	Séquence des effets	Fonction touchée	Caractéristique touchée	Attribut touché
Prélèvements ou retenue d'eau	Gestion du niveau d'eau (p. ex. dans le cadre d'activités d'exploitation d'un barrage) ou activités de prélèvement d'eau (p. ex. pour l'irrigation) qui causent l'assèchement de l'habitat.	Des fluctuations d'eau supérieures à la variabilité naturelle pour modifier la circulation de l'eau dans la rivière Okanagan et les lacs de l'Okanagan. Une baisse des niveaux d'eau pourrait isoler les moules et causer leur échouage au-dessus du niveau de l'eau (Stanton *et al.* 2012) ou les placer dans une position très exposée, les rendant vulnérables à l'action des vagues, à l'altération, à la déshydratation ou à la prédation. Les changements du débit de la rivière peuvent avoir une incidence sur les dépôts de sédiments (modification des substrats de prédilection) et modifier la température de l'eau. Les juvéniles sont particulièrement vulnérables à l'affouillement.	Frai et fécondation Reproduction Croissance Quête de nourriture	Habitat lacustre et riverain	• Paramètres de la qualité de l'eau (oxygène, température et pH) dans la fourchette de variation naturelle • Refuge contre le débit (sous la forme de rochers [> 256 mm] ou de galets grossiers [de 128 mm à 256 mm] dans le substrat stable), particulièrement en dessous des déversoirs (habitat riverain seulement) • Berges stables d'une profondeur de 0,5 m à 5 m (habitat riverain seulement) • Faible variabilité hydraulique (Davis *et al.* 2013), c.-à-d. rivière canalisée, plat lentique (habitat riverain seulement) • Profondeur de l'eau de 0,5 m à 5 m le long de la zone littorale (habitat lacustre seulement) • Disponibilité de nourriture • Disponibilité d'un poisson hôte adéquat (espèce et abondance); chabot (*Cottus* sp.) et possiblement d'autres espèces • Habitat convenable pour le poisson hôte

Menace	Activité	Séquence des effets	Fonction touchée	Caractéristique touchée	Attribut touché
Introduction d'espèces envahissantes dans le cadre d'activités humaines	Introduction accidentelle ou délibérée d'espèces non indigènes (p. ex. *Dreissena* sp); ouverture de barrages et d'échelles à poissons qui donnent lieu à un transfert d'espèces (p. ex. achigan à petite bouche).	Modification des relations entre les prédateurs et les proies.	Frai et fécondation Reproduction Croissance Quête de nourriture	Habitat lacustre et riverain	• Disponibilité d'un poisson hôte adéquat (espèce et abondance), chabot (*Cottus* sp.) et possiblement d'autres espèces • Habitat convenable pour le poisson hôte • Quête de nourriture du poisson hôte synchronisée avec la libération de l'agglomérat, en quelques heures ou quelques jours • Disponibilité de nourriture • Destruction du substrat; *Dreissena* sp. peut créer son propre substrat et asphyxier les moules d'eau douce indigènes

Menace	Activité	Séquence des effets	Fonction touchée	Caractéristique touchée	Attribut touché
Déversement de substances polluantes et apport excessif de nutriments en raison du débit de l'eau souterraine ou de l'eau de surface de sources ponctuelles ou non ponctuelles.	Rejet de pollution urbaine et industrielles dans l'habitat, y compris le ruissellement des eaux d'orage de projets actuels et nouveaux, les systèmes septiques résidentiels, l'application excessive de fertilisant (commercial ou résidentiel) et la gestion inadéquate des nutriments (p. ex. débris organiques, eaux usées, déchets d'origine animale, systèmes septiques et égouts municipaux).	Les hydrocarbures aromatiques polycycliques ne se dissolvent pas facilement dans l'eau; ils se lient à des matières organiques et peuvent se déposer dans les sédiments. L'alimentation et la métamorphose des adultes pourraient s'en ressentir, tout comme le développement des larves et la disponibilité et l'habitat du poisson hôte. Eutrophisation causant des proliférations d'algues réduisant la pénétration de la lumière et la clarté de l'eau, modifiant la chimie de l'eau, augmentant les taux de sédimentation et modifiant la structure du réseau trophique.	Frai et fécondation Reproduction Croissance Quête de nourriture	Habitat lacustre et riverain	• Paramètres de la qualité de l'eau (oxygène et pH) dans la fourchette de variation naturelle • Peu ou pas de polluants ajoutés • Disponibilité d'un poisson hôte adéquat (espèce et abondance); c.-à-d. chabot (*Cottus* sp.) et possiblement d'autres espèces • Disponibilité de nourriture

6 ÉTUDES VISANT À ÉCLAIRER LA DÉSIGNATION DE L'HABITAT ESSENTIEL DE *G. angulata*

Des études portant sur la migration du poisson hôte (c.-à-d. la distance parcourue par le chabot) permettraient d'établir un cadre temporel et spatial projeté pour la répartition des moules. En outre, le fait de déterminer d'autres espèces de poisson hôte et leurs rôles écologiques, en ce qui concerne le recrutement des moules, la dispersion, la connectivité du lit et la variabilité génétique dans la population permettrait de répondre à des questions sur la génétique des populations et les mécanismes de dispersion.

Des recommandations supplémentaires ou améliorées concernant l'habitat essentiel peuvent être formulées à partir d'une projection axée sur le modèle « Random Forest » dans l'ensemble du lac Okanagan. On pourrait ainsi prédire les sites où *G. angulata* est présente, mais qui n'ont pas encore fait l'objet de relevés, ou localiser des sites d'habitat optimal pour cette espèce où elle ne s'est pas encore dispersée. Un modèle amélioré pourra être appliqué à l'ensemble des lacs du bassin hydrographique de la rivière Okanagan lorsque des données bathymétriques seront disponibles. Cela permettra de rajuster les polygones d'habitat essentiel en fonctions des profondeurs appropriées (p. ex. 5 à 7 m) au lieu d'utiliser une distance fixe à partir du rivage (c.-à-d. 80 m à partir d'une élévation de la berge de 343 m [carte TRIM]). De la même manière, il est possible de préciser l'habitat essentiel proposé en menant un relevé de validation sur le terrain pour déterminer les limites réelles des gisements de moules au moyen d'un système de positionnement global dans le bassin de l'Okanagan.

On ignore le rôle écologique de l'habitat riverain pour *G. angulata*, en ce qui concerne la quantité et la qualité requises dans les lacs et les rivières. L'habitat riverain joue vraisemblablement de multiples fonctions vitales pour *G. angulata*. Étant donné que *G. angulata* est un organisme filtreur passif, les fourchettes précises de quantité et de qualité des détritus et de l'habitat riverain sont probablement des attributs importants pour cette espèce.

7 LACUNES DANS LES CONNAISSANCES CONCERNANT LA BIOLOGIE DE *G. angulata*

La taille minimale viable de la population est un élément inconnu de la gestion de cette espèce (MPO 2011). Il sera possible de déterminer si la quantité d'habitats essentiels proposés suffit à maintenir cette population à mesure que l'on obtiendra de plus amples renseignements sur les objectifs en matière de rétablissement et sur l'écologie de la population. En ce qui concerne le cycle biologique de cette espèce, on ignore si *G. angulata* a une incubation à court terme (tachytélique), dont le frai et la libération des glochidies se produisent pendant la même saison, ou à long terme (bradytélique) [Spring Rivers 2007]. Ces renseignements pourraient s'avérer importants pour déterminer les températures minimales ou maximales requises à l'heure du changement climatique ou pendant les années où les conditions environnementales sont défavorables.

On ignore l'étendue de l'habitat ou les limites liées à la sédimentation, ainsi que les besoins en oxygène interstitiel de cette espèce. Ces éléments pourraient être importants en raison de l'accroissement potentiel de l'érosion dans le bassin hydrographique de la rivière Okanagan découlant de l'aménagement des estrans et de l'augmentation des extrants de traitement des eaux attribuables aux pressions croissantes des populations humaines.

Les limites qui existent dans notre capacité à estimer avec précision l'âge des spécimens de l'espèce *G. angulata* provoquent des incertitudes dans l'estimation du recrutement de juvéniles. La détermination de l'âge des moules au moyen de leurs cercles de croissance externes est difficile et peut provoquer un risque de sous estimation de l'âge des moules de 100 % (Downing *et al.* 1991). Par exemple, si l'âge réel de *G. angulata* est de 45 ans, l'estimation du nombre d'emplacements permettant un recrutement suffisant s'en trouve réduit (Mageroy *et al.* 2016[3]).

Le nombre critique de poissons hôtes et la composition des espèces de poissons nécessaire (au sein d'une région, d'un bassin hydrographique ou d'un gisement de moules) en vue de maintenir une population de *G. angulata* demeurent inconnus, tout comme le rôle écologique des différents poissons hôtes en ce qui a trait à la connectivité de l'habitat.

Les besoins en matière d'habitat liés au débit et à la circulation de l'eau dans les sites où *G. angulata* est présente sont incertains. Étant donné que *G. angulata* est un organisme filtreur passif, l'alimentation et la respiration s'effectuent en chargeant les sites de nourriture dans des eaux où la circulation est bonne. La circulation et le débit d'eau minimaux, maximaux et optimaux dans les sites sont des paramètres de l'habitat inconnus pour cette espèce.

8 CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS

Des sites possibles d'habitat lacustre et riverain ont été désignés et décrits géographiquement au moyen de polygone dans le cadre de la démarche par zone de délimitation. Si cette espèce devient inscrite sur la liste des espèces en voie de disparition, on recommande de désigner les sites où l'on a confirmé récemment la présence (de 2005 à 2015) en tant qu'habitat essentiel. Une superficie totale de 708 770 m2 (0,70877 km2) d'habitat essentiel riverain est recommandée pour G. angulata, tandis qu'une superficie totale de 2 646 552 m2 (2,646552 km2) d'habitat essentiel lacustre est recommandée. Au total, l'habitat essentiel proposé présente une superficie de 3 355 322 m2 (3,355322 km2) et ne comprend que des sites dans lesquels la présence de G. angulata a été confirmée depuis 2005. Il est impossible de fournir une recommandation quant à l'étendue de l'habitat essentiel requis pour cette population, étant donné qu'aucun objectif de rétablissement n'a été établi.

Les études supplémentaires recommandées comprennent notamment l'analyse de l'écologie des espèces de poissons hôtes de *G. angulata* afin de mieux comprendre leur rôle, en ce qui concerne le recrutement des juvéniles, la connectivité de l'habitat et les menaces pesant sur le rétablissement de la population. On recommande d'appliquer un modèle d'habitat « Random Forest » à l'ensemble du lac Okanagan. On recommande aussi à la direction d'examiner les sites où *G. angulata* est absente, mais qui présentent des caractéristiques d'habitat adéquates, en parallèle avec les objectifs en matière de répartition, de survie et de rétablissement. Ces sites pourraient convenir à une désignation en tant qu'habitat essentiel, à mesure que l'on en sait plus sur les objectifs de rétablissement et sur l'écologie de ces populations.

9 REMERCIEMENTS

J'aimerais remercier Sean MacConnachie (MPO) pour sa relecture du présent rapport, sa contribution à l'obtention de données et de documents de référence et les discussions instructives que nous avons eues. Des travaux importants sur le terrain ont été menés par Jon Mageroy (Université de la Colombie-Britannique, Okanagan; UBCO), Steven Brownlee (UBCO) et Jerry Mitchell (ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique). L'assistance en matière de modélisation statistique a été apportée par Jason Pither (UBCO). M. Pither est l'auteur du code statistique utilisé pour l'analyse de la sensibilité. Martin Nantel (MPO), Tammy Norgard (MPO), Jon Mageroy (MPO) et Ian Walker (UBCO) ont également formulé des commentaires et mené des examens officiels sur le présent rapport. Merci à tous ceux qui ont participé à la présentation de ce rapport et qui ont fait part de leurs suggestions pour l'améliorer : Sean MacConnachie, Sheena Majewski (MPO), Martin Nantel (MPO), Tammy Norgard, Steven Brownlee, Jon Mageroy, Ian Walker, Lora Nield (MFTERN), Linnea Flostrand (MPO), Colette Louie (Bande indienne d'Osoyoos), Lesley MacDougall (MPO), Lily Stanton (universitaire), Lynnea Wiens (Okanagan Nation Alliance) et Greg Wilson (ministère de l'Environnement de la Colombie-Britannique).

10 RÉFÉRENCES

Arbuckle, K.E., Downing, J.A. 2002. Freshwater mussel abundance and species richness: GIS relationships with watershed land use and geology. Can. J. Fish Aquat. Sci. 59: 310-316.

BC Conservation Data Centre. 2015a. Conservation Status Report: Gonidea angulata. BC Ministry of Environment. (Consulté le 4 juin 2018).

BC Conservation Data Centre. 2015b. Species Summary: Gonidea angulata. BC Ministry of Environment. (Consulté le 4 juin 2018).

Bogan, A.E. 1993. Freshwater Bivalve Extinctions (*Mollusca*: *Unionoida*): A search for causes. Am. Zool. 33: 599-609.

Booth, D.M. 1969. Water Quality Studies in Osoyoos Lake, British Columbia. Thesis (M.Sc.) University of British Columbia. 180 p. (Consulté le 4 juin 2018).

Breiman, L. 2001. Random Forests. Machine Learning 45: 5-32. DOI: 10.1023/A:1010933404324.

Brim Box, J., Mossa, J. 1999. Sediment, land use, and freshwater mussels: Prospects and problems. J. North Am. Benthol. Soc. 18: 99-117. (Consulté le 4 juin 2018).

Buddensiek, V. 1995. The culture of juvenile freshwater pearl mussels *Margaritifera margaritifera* L. in cages: A contribution to conservation programmes and the knowledge of habitat requirements. Biol. Conserv. 74: 33-40. DOI: 10.1016/0006-3207(95)00012-S.

Buddensiek, V., Engel, H., Fleischauer-Rossing, S., Wachtler, K. 1993. Studies on the chemistry of interstitial water taken from defined horizons in the fine sediments of bivalve habitats in several northern German lowland waters. 1: Sampling techniques. Arch. Hydrobiol. 119: 55-64.

Callaghan, D.P., Leon, J.X., Saunders, M.I. 2015. Wave modelling as a proxy for seagrass ecological modelling: Comparing fetch and process-based predictions for a bay and reef lagoon. Estuarine, Coastal Shelf Sci. 153: 108-120. DOI: 10.1016/j.ecss.2014.12.016.

COSEPAC. 2003. Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur la gonidée des Rocheuses (*Gonidea angulata*) au Canada. Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa. vii + 31 p. (Consulté le 4 juin 2018).

COSEPAC. 2010. Évaluation et Rapport de situation du COSEPAC sur la gonidée des Rocheuses Gonidea angulata au Canada. Comité sur la situation des espèces en péril au Canada. Ottawa. vi + 62 p. (Consulté le 4 juin 2018).

Davis, E.A., David, A.T., Norgaard, K.M., Parker, T.H., McKay, K., Tennant, C., Soto, T., Rowe, K., Reed, R. 2013. Distribution and abundance of freshwater mussels in the Mid Klamath Subbasin, California. Northwest Sci. 87: 189-206.

Dietz, T.H., Findley., A.M. 1980. Ion-stimulated ATPase activity and NaCl uptake in the gills of freshwater mussels. Can. J. Zool. 58: 917-923. DOI: 10.1139/z80-126.

Dimock, R.V., Wright, A.H. 1993. Sensitivity of juvenile freshwater mussels to hypoxic, thermal, and acid stress. J. Elisha Mitchell Sci. Soc. 109: 183-192.

Downing, J.A., Meter, P.V., Woolnough D.A. 2010. Suspects and evidence: a review of the causes of extirpation and decline in freshwater mussels. Anim. Biodivers. Conserv. 33.2: 151-185.

Downing, W.L., Shostel, J., Downing, J.A. 1991. Non-annual external annuli in the freshwater mussels *Anadonta grandis grandis* and *Lampsilis radiata siliquoidea*. Freshwater Biol. 28: 309-317.

Ecocat. Ecological Reports Catalogue. *Gonidea angulata*. (Consulté le 4 juin 2018).

Ercan, E., Tarkan, A.S. 2014. Effect of salinity on the growth and survival of the freshwater mussel, *Unio crassus*, in an environmentally disturbed river. Pak. J. Zool. 46: 1399-1406.

Fuller, S.L.H. 1974. Clams and mussels (*Mollusca*: *Bivalvia*). *In* Hart, C.W., and Fuller, S.L.H. (eds.). Pollution ecology of freshwater invertebrates. Academic Press, New York. 215-273 p.

Geist, J. 2005. Conservation Genetics and Ecology of European Freshwater Pearl Mussels (*Margaritifera margaritifera* L.). Dissertation (Ph.D.) Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät Wissenschaftszentrum Weihenstephan für Ernährung, Landnutzung und Umwelt, Munich, Germany. 120 p.

Gregory S., Swanson, F.J., McKee, W.A., Cummins, K.W. 1991. An ecosystem perspective of riparian zones. BioScience 41(8): 540-541.

Haag, W.R. 2012. North American Freshwater Mussels: Natural History, Ecology and Conservation. Cambridge Press. 535 p.

Hakanson, L. 1977. The influence of wind, fetch, and water depth on the distribution of sediments in Lake Vanern, Sweden. Can. J. Earth Sci. 14: 397-412.

Harris, A., Daelyn, T. Woolnough A., Zanatta, D.T. 2011. Insular lake island biogeography: Using lake metrics to predict diversity in littoral zone mollusk communities. J. North Am. Benthol. Soc. 30: 997-1008. DOI: 10.1899/11-020.1.

Hothorn, T., Hornik, K., Zeileis, A. 2006. Party: A laboratory for recursive partitioning.

Jepsen, S., LaBar, C., Zarnoch, J. 2010. Species Profile: Western Ridged Mussel (Gonidea angulata). The Xerces Society. (Consulté le 4 juin 2018).

Kat, P.W. 1984. Parasitism and the Unionacea (Bivalvia). Biol. Rev. Cambridge Philos. Soc. 59: 189-207.

Kratzer, J.F., Warren, D.R. 2013. Factors limiting brook trout biomass in Northeastern Vermont streams. North Am. J. Fish Manage. 33: 130-139. DOI: 10.1080/02755947.2012.743934.

Lauzier, R.B., Stanton, L.M. 2012. Recovery Potential Assessment for Rocky Mountain ridged mussel (*Gonidea angulata*). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2011/109. vi + 37p.

Lydeard, C., Cowie, R.H., Ponder, W.F., Bogan, A.E., Bouchet, P., Clark, S.A., Cummings, K.S.. 2004. The global decline of nonmarine mollusks. BioScience 54: 321-330.

Mackie, G. 2010. Risk assessment of water quality in Okanagan Lake, British Columbia, to Zebra/Quagga mussel infestations. Report submitted by Water Systems Analysts Ltd. for the COSEWIC Mollusc Species Subcommittee. September 2010. 6 pp.

Mackie, G., Morris, T.J., Ming, D. 2008. Protocols for the detection and relocation of freshwater mussels species at risk in Ontario-Great Lakes Area (OGLA). Can. Manuscr. Rep. Fish. Aquat. Sci. 2790: vi + 50 pp.

Mackie, G.L. 1991. Biology of the exotic zebra mussel, *Dreissena polymorpha*, in relation to native bivalves and its potential impact in Lake St. Claiar. Hydrobiologia 219: 251-268.

Mageroy, Dr. Jon. 2015. Rocky Mountain ridged mussel (*Gonidea angulata*) in the Okanagan Valley, BC: Final report on juvenile recruitment, host fish field sampling, and the impact of rototilling against Eurasian watermilfoil (*Myriophyllum spicatum*). Report. University of British Columbia, Kelowna, British Columbia.

McRae, S.E., Allan, J.D., Burch, J.B. 2004. Reach and catchment-scale determinants of the distribution of freshwater mussels (*Bivalvia*: *Unionidae*) in south-eastern Michigan, U.S.A. Freshwater Biol. 49: 127-142.

Mladenka, G.C., Minshall, G.W. 2001. Variation in the life history and abundance of three populations of Bruneau hot spring snails (*Pyrgulopsis bruneauensis*). West. North Am. Nat. 61: 204-212.

Morales, Y., Weber, L.J., Mynett, A.E., Newton, T.J. 2006. Effects of substrate and hydrodynamic conditions on the formation of mussel beds in a large river. J. North Am. Benthol. Soc. 25: 664-676. DOI: 10.1899/0887-3593(2006)25[664:EOSAHC]2.0.CO;2.

Mouton, A.M., De Baets B., Goethals, P.L.M. 2010. Ecological relevance of performance criteria for species distribution models. Ecol. Modell. 221: 1995-2002.

MPO. 2010. Évaluation du potentiel de rétablissement de la lampsile fasciolée (*Lampsilis fasciola*) au Canada. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2010/045.

MPO. 2011. Évaluation du potentiel de rétablissement de la gonidée des Rocheuses (*Gonidea angulata*) en Colombie-Britannique. Secr. can. de consult. sci. du MPO, Avis sci. 2011/053.

Nedeau, E.J., Smith, A.K., Stone J., Jepsen, S. 2009. Freshwater mussels of the Pacific Northwest. 2nd ed. The Xerces Society for Invertebrate Conservation. Portland, Oregon, U.S.A.

Nicklin, L., Balas, M.T. 2007. Correlation between unionid mussel density and EPA habitat-assessment parameters. Northeast. Nat. 14: 225-234. (Consulté le 18 décembre 2017).

O'Brien, C., Nez, D., Wolf, D., Brim Box, J. 2013. Reproductive biology of *Anodonta californiensis, Gonidea angulata,* and *Margaritifera falcata* (Bivalvia: Unionoida) in the Middle Fork John Day River, Oregon. Northwest Sci. 87: 59-72.

Oliver, G. 2000. Conservation objectives for the freshwater pearl mussel (*Margaritifera margaritifera*). Report to English Nature, Peterborough.

Pandolfo, T.J., Cope, W.G., Arellano, C., Bringolf, R.B., Barnhart, M.C., Hammer, E. 2010. Upper thermal tolerances of early life stages of freshwater mussels. J. North Am. Benthol. Soc. 29: 959-969.

Pearson, M. 2007. An Assessment of Potential Critical Habitat for Nooksack Dace (*Rhinichthys cataractae* ssp.) and Salish Sucker (*Catostomus* sp.). DFO Can. Sci. Advis. Sec. Res. Doc. 2007/058. viii + 71 p.

Pêches et Océans Canada. 2011. Plan de gestion de la gonidée des Rocheuses (*Gonidea angulata*) en Colombie-Britannique. Série de plans de gestion de la *Loi sur les espèces en péril*. Pêches et Océans Canada, Vancouver (Colombie-Britannique).

Pêches et Océans Canada. 2015. *Loi sur les espèces en péril.* Lignes directrices pour la désignation de l'habitat essentiel des espèces aquatiques en péril.

Scheide, J.I., Dietz, T.H. 1982. The effects of independent sodium and chloride depletion on ion balance in freshwater mussels. Can. J. Zool. 60: 1676-1682.

Schleppe, J., Mason, B. 2009. Standard methods for completion of foreshore inventory and mapping projects. Prepared by: Ecoscape Environmental Consultants Ltd. and The Community Mapping Network DOI: 10.1016/B978-012373624-6/50008-4.

Schwalb, A.N., Morris, T.J., Mandrak, N.E., Cottenie, K. 2013. Distribution of unionid freshwater mussels depends on the distribution of host fishes on a regional scale. Diversity Distrib. 19: 446-454.

Shaffer, M.L. 1981. Minimum population sizes for species conservation. BioScience 31: 131-134.

Snook, R. 2015. Modeling Habitat Suitability for the Rocky Mountain ridged mussel (Gonidea angulata), in Okanagan Lake, British Columbia, Canada. Thesis (M.Sc.) University of British Columbia, BC. 96 p. (Consulté le 4 juin 2018).

Spring Rivers. 2007. Reproductive timing of freshwater mussels and potential impacts of pulsed flows on reproductive success. California Energy Commission. PIER Energy-Related Environmental Research Program. CEC-500-2007-097.

Stanton, L., Lauzier, R., Macconnachie, S.,. Nield, L., Pollard, S., Heron, J., Davies, S. 2012. Exploratory surveys and directed studies of Rocky Mountain Ridged Mussel (*Gonidea angulata* Lea, 1839) in British Columbia. Can. Manuscr. Rep. Aquat. Sci. No. 3003.

Strayer, D.L. 1993. Macrohabitats of freshwater mussels (Bivalvia : Unionacea) in streams of the Northern Atlantic Slope.. J. North Am. Benthol. Soc.12: 236-246.

Strayer, D.L. 1999. Use of flow refuges by unionid mussels in rivers. J. North Am. Benthol. Soc. 18: 468-476.

Strayer, D.L. 2008. Freshwater Mussel Ecology: A multifactor approach to distribution and abundance. University of California Press, Berkeley, California. 216 p.

The Alberta Westslope Cutthroat Trout Recovery Team. 2013. Alberta Westslope Cutthroat Trout Recovery Plan: 2012–2017. Alberta Environment and Sustainable Resource Development, Alberta Species at Risk Recovery Plan No. 28. Edmonton, AB. 77 p.

Vannote, R.L., Minshall, G.W. 1982. Fluvial processes and local lithology controlling abundance, structure, and composition of mussel beds. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 79: 4103-4107.

Vaughn, C.C., Nichols, S.J., Spooner D.E. 2008. Community and foodweb ecology of freshwater mussels. J. North Am. Benthol. Soc.27: 409-423. DOI: 10.1899/07-058.1.

Vezza, P., Paranimf, C., De Gandia, G., España, V., Martinez-capel, F., Muñoz-mas, R., Alcaraz-hernandez, J.D. 2012. Habitat suitability modeling with random forest as a tool for fish conservation in Mediterranean rivers. *In* Eds: Mader, H., and Kraml, J., 9th International Symposium on Ecohydraulics 2012 Proceedings, Vienna, Austria. ISBN: 978-3-200-02862-3.

Watters, T.G. 1999. Freshwater mussels and water quality: A review of the effects of hydrologic and instream habitat alterations, 261-274. In Proceedings of the First Freshwater Mollusk Conservation Society Symposium.

Westerbom, M., Jattu, S. 2006. Effects of wave exposure on the sublittoral distribution of blue mussels *Mytilus edulis* in a heterogeneous archipelago. Mar. Ecol. Prog. Ser. 306: 191-200.

Young, M.R., Hastie, L.C., al-Mousawi, B. 2001. What represents an "ideal" population profile for *Margaritifera margaritifera*? *In* Die Flussperlmuschel in Europa: Bestandssituation und Schutzmassnahmen. Wasserwirtschaftsamt Hof & Albert-Ludwigs Universität Freiburg. 35-44 p.

ANNEXE 1. IMAGES DE L'HABITAT DE *G. angulata*

Figure 2. G. angulata dans un habitat lacustre, avec un substrat comportant un mélange de sable, de limon et de boue. Ce site présente également un banc et une exposition de 12 km (Summerland, lac Okanagan) [Photographie : Roxanne Snook].

Figure 3. Des moules G. angulata *bloquées entre des rochers et des galets grossiers sous des dépôts de sable et de sédiments fins (Dog Beach, Summerland, lac Okanagan) [Photographie : Roxanne Snook].*

Figure 4. Traces de moules G. angulata *dans un site présentant un enfouissement élevé (100 %) du substrat, avec une teneur élevée en sable, en limon et en matières organiques. Ce site présente également un banc et une exposition de 13 km (Photographie : Steven Brownlee).*

Figure 5. Dans les eaux plus turbulentes où règnent des contraintes de cisaillement (p. ex. sous les déversoirs), les moules G. angulata *se trouvent calées sous des rochers et des galets grossiers (Photographie : Roxanne Snook).*

ANNEXE 2. CARTE DE L'HABITAT ESSENTIEL DANS LA VALLÉE DE L'OKANAGAN

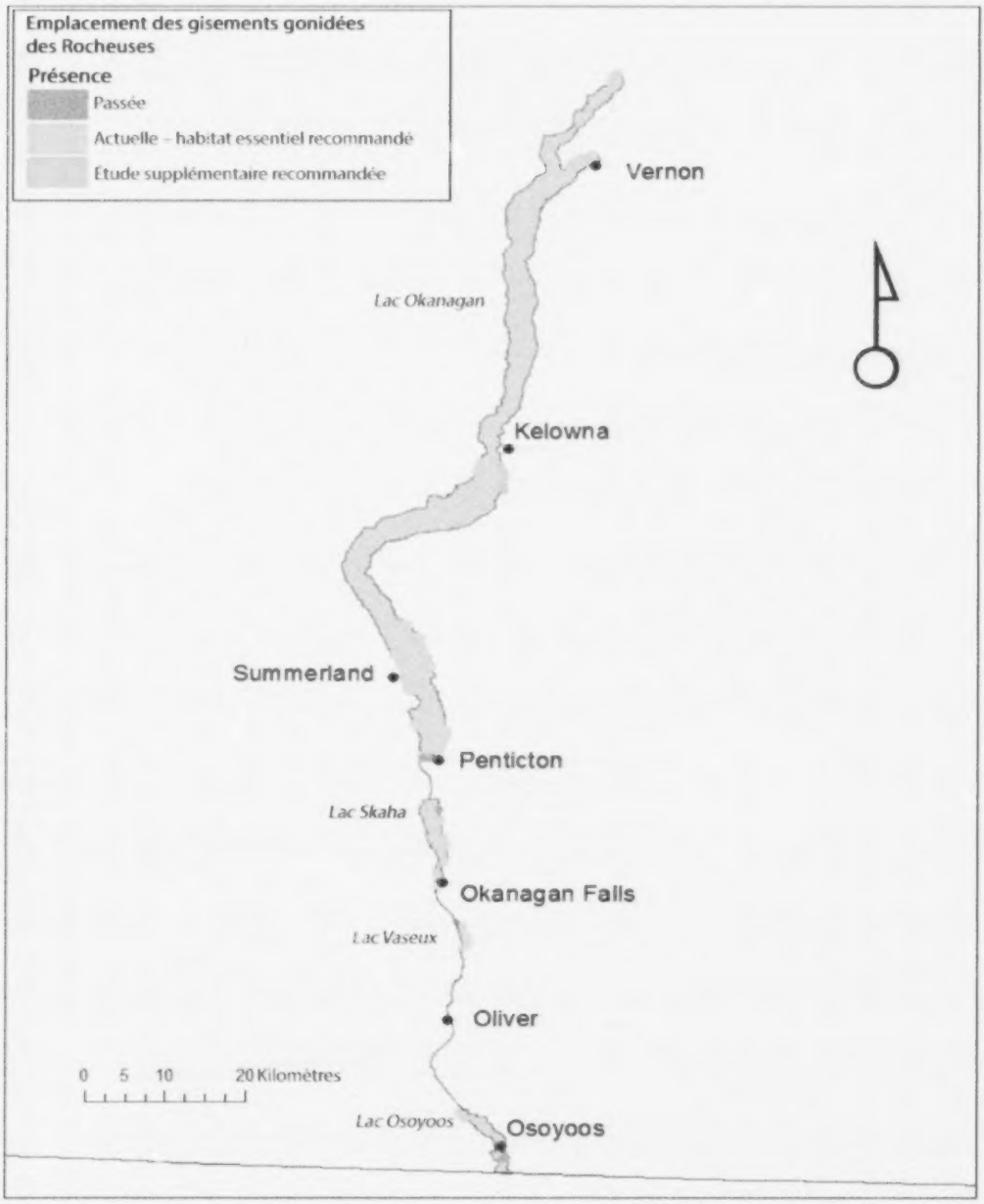

Figure 6. Emplacement des gisements de G. angulata *au sein des lacs de la vallée de l'Okanagan. Les polygones colorés représentent la présence passée (violet), actuelle (rose – depuis 2005) et nécessitant de plus amples relevés (vert). Les segments roses sont les habitats essentiels recommandés.*

Un exercice cartographique a été mené par Snook (2015) à l'aide d'un modèle « Random Forest » dans le lac Okanagan. Le fetch réel a été calculé manuellement, et les variables incluses comprenaient uniquement les principales variables prédictives à la sortie du modèle. Par conséquent, on peut penser que de nombreux autres sites sont présents dans le lac Okanagan. Les sites figurant au tableau 7 sont par conséquent recommandés aux fins de relevés supplémentaires à la recherche de moules *G. angulata* et pourraient fournir un habitat propice pour cette espèce.

Tableau 7. Sites recommandés aux fins de relevés supplémentaires à titre d'habitats propices potentiels (et non à titre d'habitat essentiel) pour G. angulata, *d'après Snook (2015).*

Segment extrait des données d'inventaire et de cartographie des zones littorales	Distance entre les points de repère (en m)	Ordonnée de départ	Abscisse de départ	Ordonnée de fin	Abscisse de fin
Lac Okanagan* 92	919,4	5523932	320809	5523094	321088
Lac Okanagan* 96	277,6	5524955	321168	5524722	321195
Lac Okanagan* 97	455,7	5525359	320975	5524958	321166
Lac Okanagan* 98	273,3	5525574	320826	5525356	320975
Lac Okanagan* 99	235,6	5525773	320701	5525575	320825
Lac Okanagan* 100	483,7	5526095	320576	5525772	320701

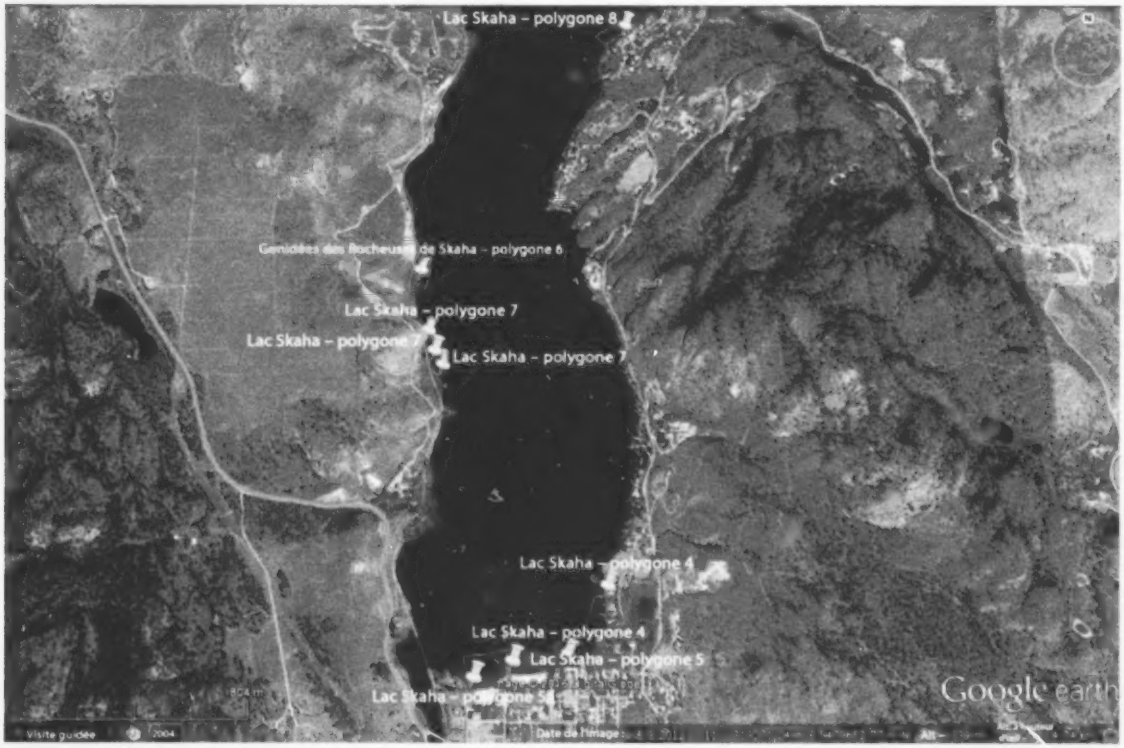

Figure 7. Polygones 4, 5, 6, 7, et 8 des chutes Okanagan et du sud du lac Skaha. Les sites présentant une présence confirmée de G. angulata *entre 2005 et 2015 sont recommandés en tant que polygones d'habitat essentiel (tableau 3).*

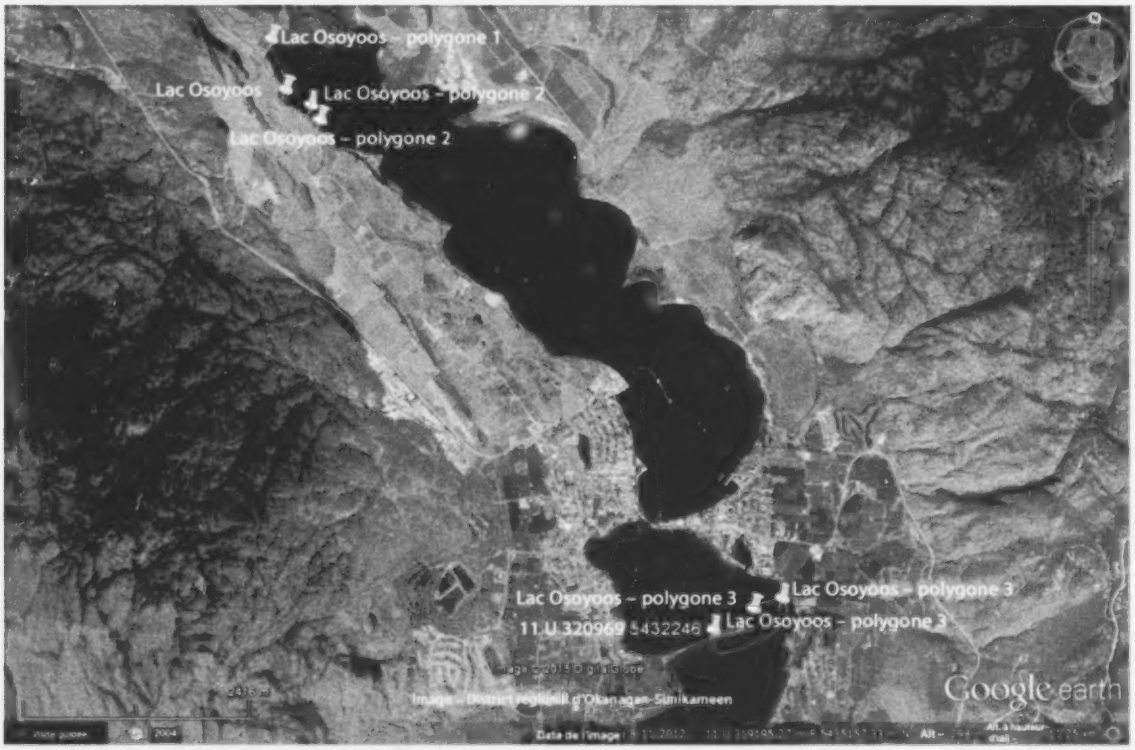

Figure 8. Emplacements actuels et passés de G. angulata *dans le lac Osoyoos. Les relevés passés autour de la pointe Haynes (polygone 3) proviennent de 2010 (Ecocat consulté le 15 décembre 2015). Les sites présentant une présence confirmée de* G. angulata *entre 2005 et 2015 sont recommandés en tant que polygones d'habitat essentiel (tableau 3).*

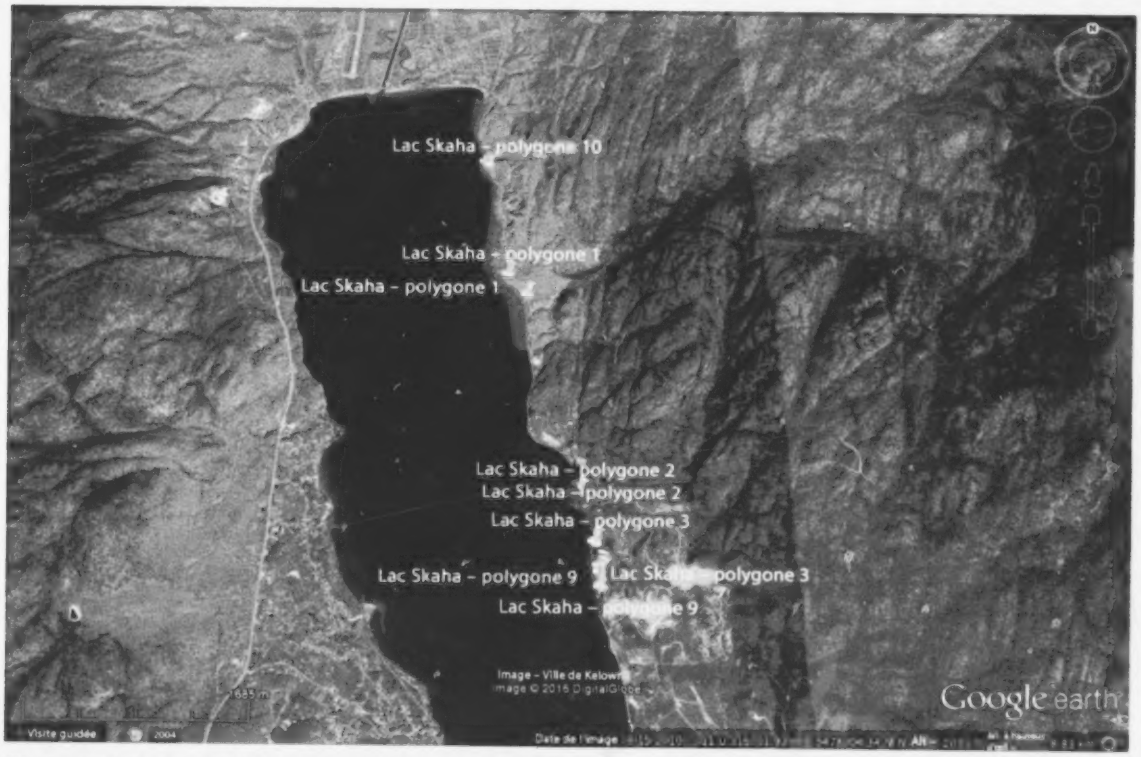

Figure 9. Polygones 1, 2, 3, 9 et 10 au nord du lac Skaha. Les sites présentant une présence confirmée de G. angulata *entre 2005 et 2015 sont recommandés en tant que polygones d'habitat essentiel (tableau 3).*

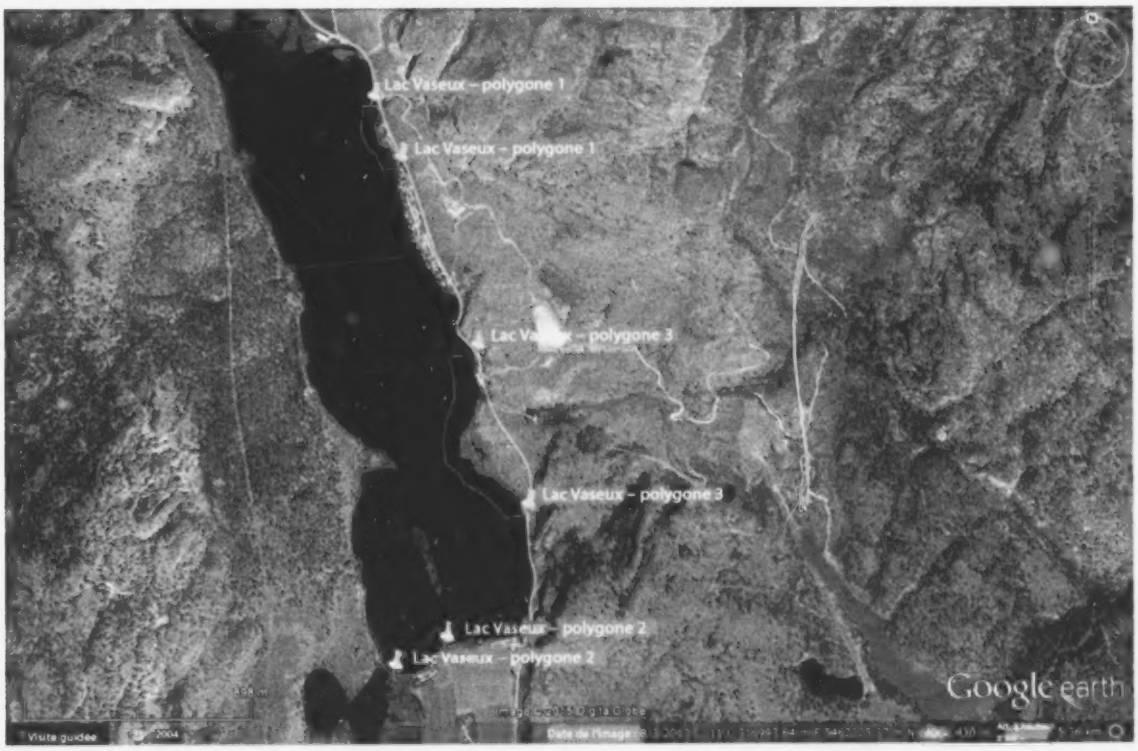

Figure 10. Les trois polygones d'habitat essentiel de G. angulata *du lac Vaseux. Les sites présentant une présence confirmée de* G. angulata *entre 2005 et 2015 sont recommandés en tant que polygones d'habitat essentiel (tableau 3).*

Figure 11. Habitat essentiel du canal Penticton, avec deux spécimens de G. angulata *observés en 2015 (Jon Mageroy[2], données non publiées). Ce polygone est recommandé en tant qu'habitat essentiel.*

Figure 12. Juste au sud du lac Vaseux se trouvent un tronçon canalisé (polygone au nord) et un tronçon naturel de la rivière Okanagan (c.-à-d. non canalisée), à partir d'un aménagement jusqu'à un pont routier (polygone au sud d'une longueur de 1,72 km). À l'est se trouve le lac Gallager. Ces polygones sont recommandés en tant qu'habitat essentiel.

Figure 13. Du chenal de frai au premier méandre restauré de la rivière Okanagan. Il s'agit d'un tronçon canalisé de la rivière (Jon Mageroy2, données non publiées 2015). Ce polygone est recommandé en tant qu'habitat essentiel.

Figure 14. Habitat essentiel entre le lac Skaha et le lac Vaseux. Ces polygones sont recommandés en tant qu'habitat essentiel.

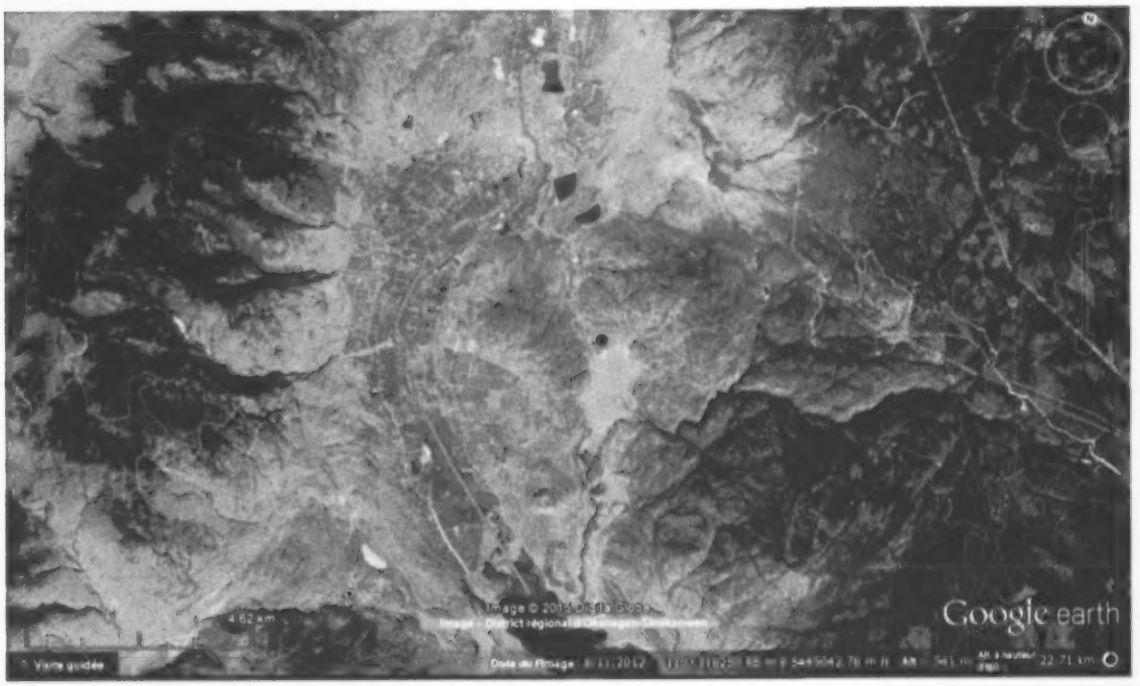

Figure 15. Rivière Okanagan, d'Oliver au lac Osoyoos. Ces polygones sont recommandés en tant qu'habitat essentiel.

ANNEXE 3. CODES DE CLASSIFICATION STATISTIQUE MIS EN ŒUVRE DANS L'ENVIRONNEMENT « R »

CODE POUR L'ALGORITHME « PARTY » :

```
library (party)

FIM<-read.csv("Datacollection_RS2014d.csv", header=TRUE, stringsAsFactors=T)

set.seed(1000)

FIM <- na.omit(FIM)

FIM$Embeddedne<- ordered(FIM$Embeddedne, levels= c("Low (0-25%)", "Medium (25-75%)", "High (75%+)"))

FIM$Slope<- ordered(FIM$Slope, levels= c("Bench", "Low (0-5)", "Moderate (5-20)", "Steep (20-60)", "Very Steep (60+)"))

FIM$Boulder_ord<- ordered(FIM$Boulder_ord, levels= c("Low (0-20)", "Medium (25-40)", "High (50-60)", "Very high (70-80)")) ##in FIM_RS_2.csv

FIM$Cobble_ord<- ordered(FIM$Cobble_ord, levels= c("None", "Low (1-20)", "Medium (25-40)", "High (50)"))

FIM$Sand_ord<- ordered(FIM$Sand_ord, levels= c("None", "Low (1-20)", "Medium (25-40)", "High (45-60)", "Very High (70-100)"))


mycontrols <- cforest_control(ntree=1000,mtry=3, minsplit=5)

rf.model <- cforest(RMRM_live ~ Total_Fetch+ Sand_ord+ Boulder_ord+ Embeddedne+ Slope, data=FIM, controls=mycontrols)

varimp(rf.model, conditional = TRUE)
```

CODE POUR L'ALGORITHME « RANDOM FOREST » :

```
library(randomForest)

file.choose()

FIM<-read.csv("Datacollection_RS2014.csv", header=TRUE, stringsAsFactors=T)

FIM <- na.omit(FIM)

FIM$Embeddedne<- ordered(FIM$Embeddedne, levels= c("Low (0-25%)", "Medium (25-75%)", "High (75%+)"))

FIM$Slope<- ordered(FIM$Slope, levels= c("Bench", "Low (0-5)", "Moderate (5-20)", "Steep (20-60)", "Very Steep (60+)"))

FIM$Boulder_ord<- ordered(FIM$Boulder_ord, levels= c("Low (0-20)", "Medium (25-40)", "High (50-60)", "Very high (70-80)")) ##in FIM_RS_2.csv

FIM$Cobble_ord<- ordered(FIM$Cobble_ord, levels= c("None", "Low (1-20)", "Medium (25-40)", "High (50)"))

FIM$Sand_ord<- ordered(FIM$Sand_ord, levels= c("None", "Low (1-20)", "Medium (25-40)", "High (45-60)", "Very High (70-100)"))
```

```
FIM_rf <- randomForest(RMRM_live ~ Shore_morph+ Total_Fetch_km+ Geomorph_desc+
Sculpin+ Sand_ord+ Cobble_ord+ Boulder_ord+ Embeddedne+ Slope, data=FIM,
ntree=5000,proximity=TRUE,importance=T, mtry = 2)

FIM_rf


###          Partial dependence plots:

partialPlot(FIM_rf, FIM, Total_Fetch, "yes", xlab="Total Fetch", ylab="Probability of RMRM
Presence")

partialPlot(FIM_rf, FIM, Slope, "yes", xlab="Slope", ylab="Probability of RMRM Presence")

partialPlot(FIM_rf, FIM, Boulder_ord, "yes", xlab="Boulders", ylab="Probability of RMRM
Presence")

partialPlot(FIM_rf, FIM, Sand_ord, "yes", xlab="Sand", ylab="Probability of RMRM Presence")
```

Pour obtenir toutes les données relatives à l'analyse de la sensibilité, communiquer avec l'auteur.

ANNEXE 4. COURBES DE DÉPENDANCE PARTIELLE POUR L'ALGORITHME « RANDOM FOREST »

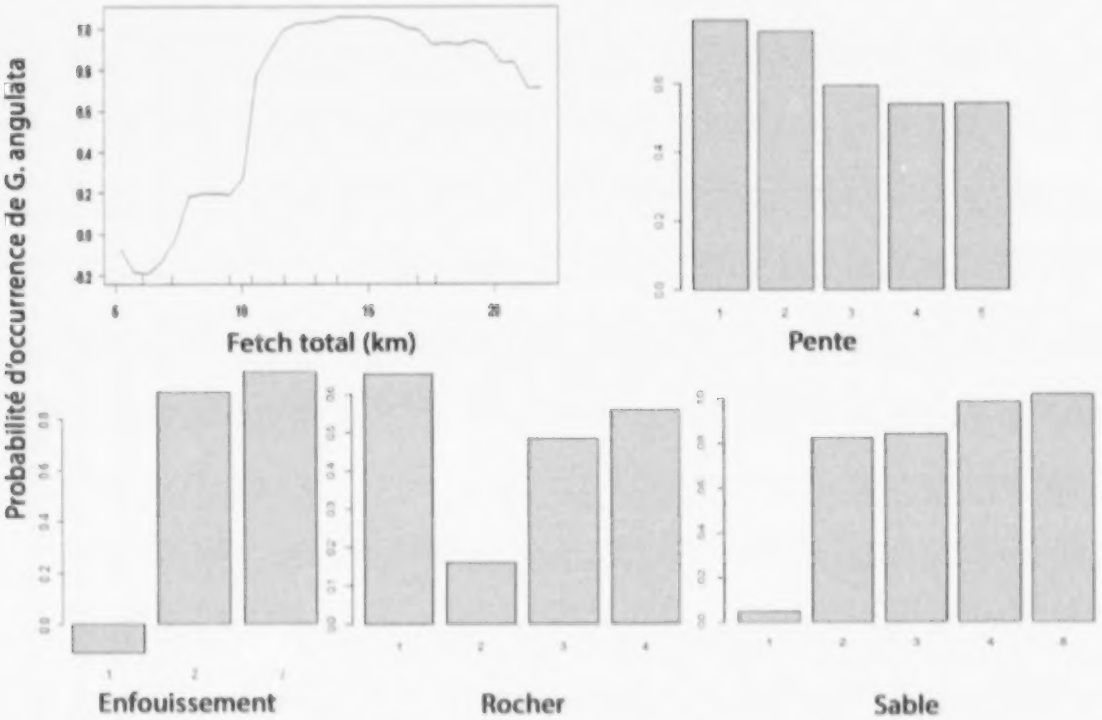

Figure 16. Courbes de dépendance partielle pour chaque variable. Ces courbes indiquent la probabilité de présence des moules G. angulata *en fonction de chaque variable prédictive dans les meilleurs modèles après un calcul de la moyenne des effets de l'ensemble des autres variables prédictives dans le modèle. « Enfouissement » est une variable ordinale comprenant les catégories suivantes : faible (0 à 25 %), moyen (25 à 75 %) et élevé (> 75 %). « Fetch total » (fetch réel, en km) est une mesure constante. « Sable » est une variable ordinale comprenant les catégories suivantes : absent, faible (1 à 20 %), moyen (25 à 40 %), élevé (45 à 60 %) et très élevé (70 à 100 %). « Rocher » est une variable ordinale comprenant les catégories de rochers suivantes : faible (0 à 20 %), moyen (25 à 40 %), élevé (50 à 60 %) et très élevé (70 à 80 %). « Pente » est une variable ordinale comprenant les catégories suivantes : banc, faible (0 à 5 %), moyenne (5 à 20 %), abrupte (20 à 60 %), et très abrupte (plus de 60 %).*